

Aus dem Institut für Rechtsmedizin  
der Universität München  
Vorstand: Prof. Dr. med. Matthias Graw

# Forensisch-biomechanische Aspekte des Kopfstoßes

Dissertation  
zum Erwerb des Doktorgrades der Medizin  
an der medizinischen Fakultät der  
Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von  
Vera Mai  
aus  
Tegernsee  
2012

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät  
der Universität München

Berichterstatter:	Prof. Dr. med. Matthias Graw
Mitberichterstatter:	Prof. Dr. med. Nikolaus Plesnila Prof. Dr. med. Frank Weber
Mitbetreuung durch promovierte Mitarbeiter:	Dr. med. Jutta Schöpfer Ph.D. Jiri Adamec
Dekan:	Prof. Dr. med. Dr. h. c. M. Reiser, FACR, FRCR
Tag der mündlichen Prüfung:	18.10.2012

**Vorveröffentlichung von Teilen der Arbeit in:**

J Adamec, V Mai, M Graw, K Schneider, JM Hempel und J Schöpfer:  
*Biomechanics and Injury Risk of a Headbutt*. Int J Legal Med. 16. Sept.  
2011 (Epub ahead of print; DOI: 10.1007/s00414-011-0617-y)

Vortrag auf der 89. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für  
Rechtsmedizin: V Mai, J Schöpfer, J Adamec, JM Hempel und M Graw:  
*Forensisch-biomechanische Aspekte des Kopfstoßes*. Rechtsmedizin, 20:305,  
2010.



Meiner Familie



# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Theoretische Grundlagen und Literaturübersicht</b>	<b>4</b>
2.1	Definition und Arten des Kopfstoßes . . . . .	4
2.2	Rechtliche Aspekte . . . . .	5
2.3	Denkbare unmittelbare und mittelbare Folgen des Kopfstoßes .	7
2.3.1	Biomechanische Voruntersuchungen . . . . .	7
2.3.2	Fallbeispiele aus der Literatur . . . . .	9
2.3.3	Mittelbare Folgen . . . . .	10
2.3.4	Grundlagen zum Schädel-Hirn-Trauma . . . . .	11
2.3.5	Subarachnoidalblutung . . . . .	12
2.3.6	Nasenpyramiden-, Mittelgesichts- und Frontobasisfrak- turen . . . . .	16
2.3.7	Subduralblutung . . . . .	18
2.3.8	Traumatische Thrombosen . . . . .	21
2.3.9	Tentoriumriss . . . . .	21
2.4	Der Faustschlag und seine möglichen Folgen . . . . .	23
2.4.1	Biomechanische Voruntersuchungen . . . . .	24
2.4.2	Fallbeispiele aus der Literatur . . . . .	25
<b>3</b>	<b>Fragestellung</b>	<b>27</b>
<b>4</b>	<b>Material und Methoden</b>	<b>28</b>
4.1	Archivrecherchen . . . . .	28
4.2	Labormessungen zum Kopfstoß . . . . .	29
4.2.1	Vorbemerkungen . . . . .	29
4.2.2	Versuchsaufbau . . . . .	29
4.2.3	Bewegungsanalysesystem . . . . .	30
4.2.4	Kraftmessplatte und Ladungsverstärker . . . . .	32
4.2.5	Fragebogen . . . . .	32
4.2.6	Versuchspersonen . . . . .	33

<b>5</b>	<b>Ergebnisse</b>	<b>35</b>
5.1	Aus dem Archiv des Instituts für Rechtsmedizin . . . . .	35
5.1.1	Mündliche Gutachten . . . . .	35
5.1.2	Schriftliche Gutachten . . . . .	39
5.2	Aus dem HNO-Archiv in Großhadern . . . . .	42
5.3	Labormessungen zum Kopfstoß . . . . .	46
5.3.1	Mittel- und Höchstgeschwindigkeiten bei plötzlichen Kopfstößen (Variante A) . . . . .	47
5.3.2	Maximalgeschwindigkeiten des Kopfstoßes (Stoßvari- ante B) . . . . .	49
<b>6</b>	<b>Diskussion</b>	<b>53</b>
6.1	Aus dem Archiv des Instituts für Rechtsmedizin . . . . .	53
6.1.1	Mündliche Gutachten . . . . .	53
6.1.2	Schriftliche Gutachten . . . . .	55
6.2	Aus dem HNO-Archiv in Großhadern . . . . .	55
6.2.1	Auswahl des Krankenguts . . . . .	55
6.2.2	Kopfstoßfälle . . . . .	56
6.2.3	Fälle nach Faustschlag . . . . .	57
6.3	Labormessungen zum Kopfstoß . . . . .	58
6.4	Juristische Wertung . . . . .	60
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>61</b>
<b>A</b>	<b>Fragebogen</b>	<b>63</b>
<b>B</b>	<b>Auszug aus dem Strafgesetzbuch</b>	<b>64</b>

# Abbildungsverzeichnis

2.1	Nasenbeinfraktur und Nasenseptumhämatom schematisch . . .	17
2.2	Einteilung der Gesichtsschädelfrakturen nach LeFort und Escher	18
2.3	Gegenüberstellung von Traumaursachen und -folgen bei 166 tödlichen Schädelhirntraumata . . . . .	20
2.4	Intrakranielle Verletzungsformen in Bezug auf den Ort der Ge- walteinwirkung . . . . .	20
2.5	Mechanismus der Intimazerrung und -dissektion nach Deh- nungstraumata . . . . .	22
2.6	Schädelbruch durch Faustschlag . . . . .	26
4.1	Überblick der Versuchsanordnung . . . . .	30
4.2	Großaufnahme der Versuchsperson mit dem Ballpendel, sche- matisch . . . . .	31
4.3	Eagle Digital Kamera . . . . .	32
4.4	Mehrkomponentenkraftmessplatte . . . . .	33
4.5	8-Kanal-Ladungsverstärker . . . . .	33
5.1	Nasenbeinfrakturen in mündlichen Gutachten . . . . .	36
5.2	Anteil der Ursachen von Nasenbeinfrakturen in mündlichen Gutachten . . . . .	37
5.3	Verletzungen nach Faustschlag (mündliche Gutachtenfälle) . .	38
5.4	Anteile der gesehenen Frakturen nach Faustschlag (mündliche Gutachtenfälle) . . . . .	38
5.5	Altersverteilung der Täter in den mündlichen Gutachten . . . .	39
5.6	Anzahl der Frakturen nach Kopfstoß in den schriftlichen Gut- achten . . . . .	40
5.7	Frakturen nach Faustschlag (schriftliche Gutachtenfälle) . . . .	41
5.8	Altersverteilung der Täter (schriftliche Gutachtenfälle) . . . .	41
5.9	Verletzungen nach Faustschlag im HNO-Kollektiv . . . . .	45
5.10	Prozentuale Verteilung der Frakturen nach Faustschlag im HNO- Kollektiv . . . . .	45

5.11	Altersverteilung im Gesamtkollektiv der HNO-Klinik . . . . .	46
5.12	Näherungsweise Darstellung des Kraftverlaufs eines Kopfstoßes	48
5.13	Plötzlicher Kopfstoß, Gruppe “keine Erfahrung” (männlicher Proband, $v_{max}$ bis zu $3,55m/s$ ) . . . . .	50
5.14	Plötzlicher Kopfstoß, Gruppe “mäßig/viel Erfahrung” (männ- licher Proband, $v_{max}$ bis zu $3,01m/s$ ) . . . . .	51
5.15	Maximalstoß, Gruppe “keine Erfahrung” (männlicher Proband, $v_{max}$ bis zu $4,63m/s$ ) . . . . .	52
5.16	Maximalstoß, Gruppe “mäßig/viel Erfahrung”, (männlicher Pro- band, $v_{max}$ bis zu $4,09m/s$ ) . . . . .	52

# Tabellenverzeichnis

2.1	Minimale Krafttoleranz einzelner Schädelknochen . . . . .	7
2.2	Subarachnoidalblutungen nach stumpfer Gewalt gegen den Kopf ohne Kalottenfraktur . . . . .	16
2.3	Mittelwerte der maximalen Schlagkraft bei Boxern . . . . .	24
4.1	Lage der Reflektormarker . . . . .	30
4.2	Versuchspersonen ohne Kopfstoßerfahrung . . . . .	34
4.3	Versuchspersonen mit Kopfstoßerfahrung . . . . .	34
5.1	Eingeschlossene Diagnoseschlüssel nach ICD-9 . . . . .	42
5.2	Eingeschlossene Diagnoseschlüssel nach ICD-10 . . . . .	42
5.3	Kopfstoßfälle zwischen 1996 und 2008 in der HNO-Klinik Groß- hadern . . . . .	43
5.4	Fragliche Kopfstoßfälle zwischen 1996 und 2008 in der HNO- Klinik Großhadern . . . . .	44
5.5	Mittlere Geschwindigkeiten bei plötzlichen Kopfstößen (m/s) .	47
5.6	Mittlere Geschwindigkeiten bei plötzlichen Kopfstößen, geschlech- tersortiert (m/s) . . . . .	47
5.7	Maximalgeschwindigkeiten bei Kopfstößen (m/s) . . . . .	49
5.8	Maximalgeschwindigkeiten bei Kopfstößen, geschlechterspezi- fisch (m/s) . . . . .	50



# Kapitel 1

## Einleitung

Der Kopfstoß ist nicht nur im Profisport – also etwa beim Fußball oder Boxen – ein zwar gängiges, wenn auch unter Strafe gestelltes Angriffs- oder (Verteidigungs-)Mittel. So erinnern sich einige ggf. noch an das Endspiel der Fußball-WM 2006, als der französische Mittelfeldspieler Zinédine Zidane dem Spieler der italienischen Gegenmannschaft Marco Materazzi einen – fraglich etwas missglückten – Kopfstoß gegen die Brust verpasste, oder die Boxkennung an den Abschiedskampf von Halbschwergewichtsweltmeister Henry Maske gegen seinen Herausforderer Virgil Hill 2007, bei dem Hill einen *Cut* über dem linken Auge erlitt.

Auch bei nicht-sportassoziierten interpersonellen tätlichen Auseinandersetzungen scheint der Kopfstoß als Nahkampftechnik relativ häufig angewandt zu werden, was nicht nur diverse Internetseiten belegen. Diese einschlägigen Seiten sind einem z.T. auch noch bei der korrekten Ausführung behilflich.<sup>1</sup> Selbst das *Süddeutsche Magazin* schreibt in der Reihe “Was ein Mann wissen muss” über den legitimen Einsatz eines Kopfstoßes bei Gefahr.<sup>2</sup> Im Rahmen strafrechtlicher Verhandlungen sieht sich der rechtsmedizinische Sachverständige regelmäßig mit der Beurteilung entsprechender Körperverletzungsdelikte konfrontiert.

Laut Statistischem Jahrbuch 2009 lagen die Zahlen für gefährliche und schwere Körperverletzung (§§ 224, 226 StGB) im Jahr 2007 bei 154.849 bekannt gewordenen Straftaten [50]. Die polizeiliche Kriminalstatistik von 2007 zeigt, dass die Gewaltkriminalität in den letzten elf Jahren um 16,9 %, insbesondere Delikte wie gefährliche und schwere Körperverletzung um 45,8 % gestiegen ist. Von den 163.692 aufgeklärten Gewaltverbrechen wurden 27 % unter

<sup>1</sup><http://www.hubbardtwppd.org/selfdefense/headbutt.htm>

<sup>2</sup><http://www.sueddeutsche.de/leben/artikel/118/141810/1/>

---

Einfluss von Alkohol begangen, wobei davon wiederum die schweren und gefährlichen Körperverletzungsdelikte mit 43.436 Fällen unter Alkoholeinfluss mit 34 % anzurechnen sind. Der Anstieg der Gewaltverbrechen insgesamt lasse sich dabei einerseits auf eine gestiegene Gewaltbereitschaft von Teilen der Gesellschaft erklären, andererseits aber auch auf die Sensibilisierung der Bevölkerung mit erhöhter Anzeigebereitschaft und Intensivierung der polizeilichen Ermittlungsarbeit zurückführen [9]. Obwohl auf den einschlägigen juristischen Internetseiten regelmäßig die Rechtsprechung bezüglich verabreichter Kopfstöße thematisiert wird, findet sich keine explizite Statistik bezüglich des Kopfstoßes im Hinblick auf dessen Häufigkeitsverteilung bei Körperverletzungsdelikten.

Rechtsmediziner sind im Rahmen ihrer alltäglichen Aufgaben häufig als Gutachter vor deutschen Strafgerichten mit der medizinischen Beurteilung von Körperverletzungsdelikten befasst. Für das zu verhängende Strafmaß wesentlich ist die juristische Einordnung einer solchen Tathandlung, d.h. ob ein Körperverletzungsdelikt und dessen Folgen im konkreten Fall – noch – als “einfache” vorsätzliche Körperverletzung (§223 StGB) oder aber bereits als gefährliche Körperverletzung (§224 StGB) zu ahnden ist. Der rechtsmedizinische Sachverständige dient im Hinblick auf diese Fragestellung als medizinischer Berater des Gerichts. Er beurteilt das Niveau einer entsprechenden Behandlung und ihrer tatsächlichen bzw. möglichen Folgen im Hinblick auf ihre Lebensgefährlichkeit (siehe dazu Kapitel 2.2).

Neben der Beurteilung von Körperverletzungsdelikten infolge stumpfer Gewalt, wie beispielsweise durch Faustschläge oder Tritte bedingt, stellt nicht selten auch der Tatvorwurf eines verabreichten Kopfstoßes und dessen tatsächliche oder aber auch aus der Tathandlung heraus denkbare Folgen den Sachverständigen im Strafprozess vor das Problem der Beurteilung, inwiefern die angeklagte Behandlung aus (rechts-)medizinischer Sicht im konkreten Fall mit einer Gefahr für das Leben einherging. Dass sich die Beurteilung für die Strafgerichte als schwierig darstellt, zeigt die Rechtsprechung folgender Urteile: Das OLG Hamm hat in zwei Gerichtsverhandlungen der Jahre 2006 und 2008 (siehe hierzu Punkt 2.2) bzgl. des Kopfstoßes entschieden, dass zwar konkrete Lebensgefahr nicht bestanden haben müsse, jedoch der Kopfstoß so heftig geführt worden sein müsse, dass es zu einem “Schädelbruch oder zu Gehirnblutungen” hätte führen können. Allerdings reiche schon ein Kopfstoß, bei dem es zu Nasenbluten komme, aus, um konkrete Lebensgefahr im Sinne des § 224 StGB anzuzeigen. Demgegenüber steht ein Urteil des Jahres 2007 (1 Ss 241/07 OLG Hamm), bei welchem trotz Kopfstoß gegen den Oberkiefer die Tat als einfache Körperverletzung bewertet wurde. Auch der BGH weist

---

darauf hin, dass, wenn eine Tat nur eine abstrakte Gefahr für das Leben darstellt, der § 224 nicht anwendbar ist.

Im Rahmen der Rekonstruktion von Tathergängen ist damit insbesondere medizinisch-biomechanisch Fachwissen als Voraussetzung für die Herausarbeitung und Bewertung des genauen Ablaufs eines verabreichten Kopfstoßes für die Urteilsfindung des Gerichts unabdingbar. Grundsätzlich würde sich dem medizinischen Sachverständigen damit zunächst folgende Frage stellen: Kann man eine Person durch einen Kopfstoß überhaupt so schwer verletzen, dass diese zu Tode kommen kann?

Aus Mangel an entscheidenden Eckdaten zum Thema Kopfstoß können jedoch Sachverständige zur Rekonstruktion benannter Tathergänge bis dato ihre jeweiligen Einschätzungen auf keine ausreichend validierten forensisch-biomechanischen Untersuchungen stützen.

In Anbetracht der oben beschriebene Problematik verdeutlicht sich damit die Relevanz, die Gefährlichkeit des Kopfstoßes unter forensisch-biomechanischen Gesichtspunkten genauer zu beleuchten. Im Allgemeinen wären schwere Verletzungen nach einem Kopfstoß durchaus denkbar, jedoch liegen derzeit noch keine expliziten Untersuchungen zum Thema Kopfstoß vor. Insbesondere gibt es keine ausreichenden forensisch-biomechanischen Erkenntnisse, die dem medizinischen Sachverständigen vor Gericht eine vergleichende Beurteilung eines angeklagten Kopfstoßdeliktes gestatten würden.

Die vorliegende Arbeit untersucht anhand vorliegender Archivfälle, biomechanischer Versuche sowie unter Zuhilfenahme der vorliegenden Literatur die Auswirkungen von Kopfstößen auf den menschlichen Körper und deren maximal mögliche schädigende Potenz. Diese Erkenntnisse könnten Sachverständige zukünftig vor Gericht eine Bewertung von Kopfstoßdelikten erleichtern und anhand der neuen Eckdaten bei Rekonstruktionen von Tathergängen ggf. genauere Beurteilungen ermöglichen.

# Kapitel 2

## Theoretische Grundlagen und Literaturübersicht

### 2.1 Definition und Arten des Kopfstoßes

Bei Suche im Internet nach einer präzisen Erklärung, was unter einem Kopfstoß eigentlich landläufig zu verstehen ist, trifft man zwar durchaus auf sehr viele Hits, allerdings auf kaum treffende Definitionen. Es finden sich z.B. synonym gebrauchte Begriffe wie “Kopfnuss”, “Dänemann”, “Schwedenkuss” oder neudeutsch auch “Headbutt”. Allerdings sind sich die genauen Begrifflichkeiten nicht immer eins, wie als Beispiel der “Kopfnuss” zeigt, die insbesondere im bayerischen Sprachraum sowohl als “ein kurzer Schlag mit der geschlossenen Faust auf den Seiten- oder Hinterkopf”, als auch als “eine Nahkampftechnik, siehe Kopfstoß” verstanden werden kann.<sup>1</sup>

Die wohl treffendste Definition liefert *Wikipedia*: “Ein Schlag mit dem Kopf, typischerweise die stabilen Teile des Schädels als Auftrefffläche nutzend.” Typischerweise wird dabei eine instabilere Region des Schädels möglichst mit einem stabilen Teil getroffen, z.B. die Nase des Opfers mit der Stirn des Aggressors. Interessant ist allerdings auch die Tatsache, dass sowohl das Opfer als auch der Täter bei einem Kopfstoß zu Schaden kommen können.<sup>2</sup>

Intensiv mit der Materie “Kopfstoß” hat sich z.B. Gerald Moffatt auf der Internetseite <http://stickgrappler.tripod.com/rma/gmhead.html> beschäftigt. Er unterscheidet hier vier Hauptarten von Kopfstößen: gerade, aufsteigende, seitliche und rückwärts gerichtete.

---

<sup>1</sup><http://de.wikipedia.org/wiki/Kopfnuss>

<sup>2</sup><http://en.wikipedia.org/wiki/Headbutt>

Weiter fallen bei der Einordnung eines entsprechend ausgeführten Kopfstoßes für eine Untersuchung dessen forensisch-biomechanischer Aspekte zusätzlich diverse Unterscheidungskriterien ins Gewicht, z.B.:

- Wie unterscheiden sich Opfer und Täter hinsichtlich der jeweiligen Körpergröße?
- Wie standen sie da, aufrecht oder etwa gebeugt, und in welchem Abstand zueinander?
- Wurde das Opfer in einer Stellung fixiert, beispielsweise durch die Hände des Täters oder gegen eine feste Unterlage gedrückt?
- Welche Bewegungsrichtungen traten auf?

In der vorliegenden Arbeit wurde die gerade Form des Kopfstoßes in biomechanischen Versuchen genauer beleuchtet. Grundsätzlich sind alle vier o.g. Formen geeignet, leichte bis schwere Verletzungen zu erzielen, wobei wahrscheinlich die gerade, aufsteigende und seitliche Form des Kopfstoßes bei Auseinandersetzungen überwiegen. Die folgenden Punkte geben Aufschluss über mögliche Folgen des Kopfstoßes und deren Auswirkungen auf das Opfer.

## 2.2 Rechtliche Aspekte

“Nach § 224 Abs. 1 Nr. 5 des Strafgesetzbuches (StGB) kann eine einfache Körperverletzung zu einer gefährlichen Körperverletzung qualifiziert werden, wenn sie durch eine das Leben gefährdende Behandlung begangen wurde.” Dabei muss laut höchstrichterlicher Rechtsprechung die Verletzungshandlung konkret wie abstrakt dazu geeignet sein, “das Leben des Opfers zu gefährden”. Der Gesetzgeber geht davon aus, dass bestimmte Handlungen, so genannte abstrakte Gefährdungsdelikte, typischerweise gefährlich sind und daher schon als solche verboten werden sollten. Es gibt zwei Typen abstrakter Gefährdungsdelikte: Tatbestände, bei denen der Gesetzgeber alle gefährlichkeitsrelevanten Umstände im Gesetz aufgeführt hat und solche, bei denen ein gewisser Beurteilungsspielraum besteht, die Gefahrenggeeignetheit nach generellen Grundsätzen zu werten. Können Gefährdungsdelikte nicht als rein abstrakt beurteilt werden, werden diese als ein “Eignungsdelikt” oder “potentielles Gefährdungsdelikt” bezeichnet. Allerdings ist die Einordnung in ein abstraktes und ein konkretes Delikt in der juristischen Literatur umstritten. Ausschlaggebend für die Beurteilung der Lebensgefährlichkeit ist dabei nicht der Verletzungserfolg, sondern die Verletzungshandlung in den konkreten Umständen, also unter Berücksichtigung der individuellen Schädlichkeit

der Einwirkung gegen den Körper des Verletzten. Letzten Endes braucht die Behandlung im Einzelfall das Leben nicht konkret gefährdet zu haben – ausreichend ist, wenn die Art der Behandlung den Umständen des Einzelfalls entsprechend dazu geeignet ist. Wenn die Tat nur eine abstrakte Gefahr für das Leben auf Grund weiterer Umstände darstellt, ist der § 224 laut BGH nicht anwendbar.

Konkret bearbeitet wurde das Thema Kopfstoß vom OLG Hamm im Fall 3 Ss 549/06. Demnach kann nur “unter Berücksichtigung der individuellen Schädlichkeit der Einwirkung gegen den Körper des Verletzten” beurteilt werden, ob eine Körperverletzung das Leben gefährdet (vgl. dazu OLG Düsseldorf JZ 1995, 908). Konkrete Lebensgefahr muss nicht bestanden haben, die Art der Behandlung muss nur dazu geeignet gewesen sein. Demnach kann “ein Wuchtig gegen den Kopf des Verletzten geführter Kopfstoß lebensgefährdend sein [...], insbesondere wenn er gegen die Schläfe oder so heftig geführt wird, dass es zu einem Schädelbruch oder zu Gehirnblutungen kommen kann.” Allerdings sind Feststellungen über insbesondere die Wucht und die genaue Ausführungsart entscheidend, um die Gefährlichkeit des Kopfstoßes beurteilen zu können.

Dementsprechend wird im Urteil des Falles 2 Ss 60/08 des OLG Hamm angemerkt, dass ein heftig geführter Kopfstoß, der ausschließlich Nasenbluten und keine Fraktur erbrachte, trotzdem als generell dazu geeignet gilt, auch eine lebensgefährliche Verletzung hervorzurufen [33, 42, 43, 53].

## 2.3 Denkbare unmittelbare und mittelbare Folgen des Kopfstoßes

Um die Frage zu beantworten, welche Auswirkungen ein Kopfstoß auf den menschlichen Körper haben kann und welche denkbaren mittel- und unmittelbaren Verletzungsmuster nach einem Kopfstoß entstehen können, soll zuerst auf aus der einschlägigen Literatur bekannte Voruntersuchungen eingegangen werden. Nachfolgend werden Beispiele für fatale und weniger fatale Kopfstoßfolgen beschrieben. Im Anschluss daran werden mögliche mittelbare Folgen des Kopfstoßes erörtert.

### 2.3.1 Biomechanische Voruntersuchungen

In der Literatur finden sich zahlreiche biomechanische Untersuchungen zum Thema Toleranzgrenzen der menschlichen Gesichts- und Schädelknochen gegenüber Stoßbelastungen [31, 37]. Weibliche Personen weisen demnach eine niedrigere Toleranzgrenze gegenüber der aufgebrachten Kraft auf als männliche Personen. Die folgende Tabelle zeigt die Werte der minimalen Krafttoleranz von Kalotte und Gesichtsschädel auf (Tabelle 2.1). Die Werte sind als Richtwerte zu betrachten, da selbstredend interindividuelle Schwankungsbreiten bestehen.

Stirnbein	4000 N
Schläfen-/Scheitelbein	2000 N
Nasenbein	300 N
Jochbein	890 N
Unterkiefer	1780 N
lateralen Unterkiefer	890 N
Oberkiefer	668 N

Tabelle 2.1: Minimale Krafttoleranz einzelner Schädelknochen  
[31]

Generell hängt das Potential einer stumpfen Gewalteinwirkung gegen den Schädel von der Höhe der übertragenen Energie und der Größe der Stoßfläche ab. Es muss grundsätzlich ein Druck zwischen 2,7 und 4,1 MPa aufgebracht werden, um einen Längsbruch der Schädelkalotte hervorzurufen. Durch Experimente mit PMHS (post mortem humane Subjekte) wurde nachgewiesen, dass ab einem Druck von 3,1-5,2 MPa ein Längsbruch eintritt. Zudem ist

### 2.3. DENKBARE UNMITTELBARE UND MITTELBARE FOLGEN DES KOPFSTOSSES

---

nicht nur die Frakturtoleranz der verschiedenen Schädelknochen desselben Individuums, sondern auch die interindividuelle Frakturtoleranz des Schädels sehr unterschiedlich [15].

Nyquist et al. [32] berichteten, dass ab einer Spitzenkraft von 3000 N eine repräsentative Schwelle für schwerere Frakturgeschehen existiere. Dazu wurden an elf nicht-einbalsamierten PMHS Gesichtsanprallexperimente durchgeführt. Es wurden ein Stoßkörper mit Kontaktgeschwindigkeiten von 10-26 km/h (2,78-7,22 m/s) gegen das Gesicht getrieben und die Beschleunigung durch ein Akzelerometer am Okziput gemessen. Die initiale Beobachtung bei allen Versuchspersonen war eine Nasenbeinfraktur, wobei die Minimalgeschwindigkeit für einen solchen Bruch 10 km/h (2,78 m/s) betrug; die minimale kinetische Energie dafür betrug 241 J. Ab einer Spitzenkraft von 3 kN kam es zu deutlich schwereren Frakturgeschehen als unter dieser Schwelle.

Schneider führte in den Jahren 1984-1989 einige Versuche zu möglichen Verletzungen beim Fußball-Kopfstoß (also ein Stoßen des Balles durch die Stirn) durch [38-41].

Dabei verglich er die gemessenen translatorischen Beschleunigungen mit der Erträglichkeitskurve der Wayne-State-University, mit dem Gadd Severity Index und dem Head Injury Criterion. Die im Laborversuch gemessenen Werte unterschritten zwar die Grenzwertbereiche für Verletzungen deutlich, im wahren Leben können allerdings gefährliche Bereiche durchaus leichter erreicht werden, etwa durch einen Spieler geringer Körpermasse und einen durch Nässe schwereren Ball mit erhöhtem Innendruck und hoher Geschwindigkeit, wodurch es gelegentlich zu Gehirnerschütterungen oder sogar zu irreversiblen Hirnverletzungen kommen kann.

Mit Hilfe einer Computersimulation des menschlichen Torso-Nacken-Kopf Systems wurde hier die Verletzungstoleranz des Schädels bei stoßartigen Beschleunigungen untersucht. Dabei ergab sich u.a., dass die Verletzungsgefährdung bei lateralen Stößen aufgrund der Winkelbeschleunigung höher ist als bei frontalen Stößen, die einer translatorischen Kopfbeschleunigung entsprechen.

Die in der Realität durchaus gefährlichen Beschleunigungen beim Fußball-Kopfstoß zeigten sich bereits 1957 in drei von Diehl und Wilke beschriebenen Fällen, in denen infolge Kopfballinsulten nach 1-5 Tagen der Tod durch traumatisches Hirnödem bzw. intrakranielle Blutungskomplikationen eintrat [56]. Demgegenüber stehen allerdings Arbeiten von Rutherford et al., der das Fazit zieht, dass neurologische Schäden durch Fußball-Kopfstöße nicht sicher nachweisbar sind, aber auch nicht sicher ausgeschlossen werden können [36].

### 2.3.2 Fallbeispiele aus der Literatur

Fälle zu lebensgefährlichen Kopfstoßverletzungen sind in der forensischen bzw. traumatologischen Literatur nur sehr spärlich zu finden.

Welche das Leben gefährdenden Verletzungen durch einen Kopfstoß entstehen können zeigt ein Fall von Stan et al. aus dem Jahre 1996 eindrücklich: Dabei kam es durch einen Kopfstoß zu einem tiefen Riss in den ponto-medullären Übergang mit Ruptur der Arteria basilaris. Der Fallbeschreibung nach brach der Verstorbene nach einem einzigen Kopfstoß – leider ohne weitere Angaben zur Art und Weise desselbigen – sofort in sich zusammen und konnte trotz allen Anstrengungen des Rettungsdienstes nicht wiederbelebt werden. Die Autopsie ergab neben rechtsseitigen äußerlichen Hämatomen keine weiteren Verletzungen außer einer dünnen Subarachnoidalblutung orbito-basal, temporo-basal, fronto-parietal und cerebellär sowie milden Hirndruckzeichen und dem oben genannten tödlichen, mit Blutkoageln gefüllten Einriss des ponto-medullären Überganges sowie der Basilarisruptur. Auch in diesem Fall lag ein erhöhter Blutalkoholspiegel vor, demnach könnte der Tonus der Halsmuskulatur herabgesetzt gewesen sein.

Als Verletzungsmechanismus wurde von den Autoren eine Hyperextensionsbewegung des Kopfes zusammen mit Winkelbeschleunigungselementen angegeben [49].

Ein weiterer Fall von 2007 [14] illustriert die möglichen Komplikationen, die aus einem Kopfstoß resultieren können: Durch einen nicht näher beschriebenen Kopfstoß gegen die Stirn mit Zahnkontakt erlitt der Betroffene eine tiefe Risswunde. Eine Woche nach dem Ereignis wurden ihm vom Hausarzt Antibiotika für die nun sezernierende Wunde verschrieben. Nach weiteren zehn Tagen erfolgte eine Dosisverdopplung, da sich der Zustand des Patienten verschlechtert hatte. Vier Tage später wurde der Mann mit Fieber und Kopfschmerzen in ein Krankenhaus aufgenommen. Eine Computertomographie des Kopfes ergab einen Epiduralabszess, der nur durch eine aggressive intravenöse Antibiotikatherapie sowie durch Craniotomie mit Einlage einer Drainage in die Abszesshöhle zu therapieren war. Die Behandlung zog sich wochenlang hin, der Patient hatte bereits neurologische Ausfälle aufgewiesen.

Ferner zeigt ein 2008 von Rimal et al. [35] beschriebener Fall mögliche Kopfstoß-Komplikationen auf: Nach einem Kopfstoß während eines Rugby-Spieles klagte der Patient über zwei Tage anhaltende Kopfschmerzen. Die körperliche Untersuchung und der neurologische Status waren unauffällig, worauf der Patient mit Analgetika entlassen wurde. Nach einem Monat kam es zur Wiedervorstellung mit Verschlechterung der Symptome. Ein Kopf-CT zeigte einen frontalen Hirnabszess mit Mittellinienshift und einer Sinus-frontalis-

Hinterwand-Fraktur. Der Abszess wurde neurochirurgisch entleert und die Hinterwand des Sinus frontalis verschlossen. Zudem wurden erregerangepasste Antibiotika verschrieben. Die Nachfolgeuntersuchungen waren unauffällig. Dass ein Kopfstoß die dünnen Knochenlamellen der Sinus durchbrechen kann, erscheint nicht weiter ungewöhnlich. Dass – wie in der Fallbeschreibung – die Hinterwand des Sinus frontalis trotz intaktem Schutzhelm bricht, erscheint dagegen schon fast unmöglich. Nachdem der Artikel nicht näher darauf eingeht, ist es aber durchaus möglich, dass der Patient Rugby als Freizeitaktivität ohne Helm gespielt hat. Was für Folgen eine derartige Fraktur jedoch haben kann, zeigt der Fall eindrücklich.

### 2.3.3 Mittelbare Folgen

Denkbare mittelbare Folgen eines Kopfstoßes können von keinen gesundheitlichen Auswirkungen für das Opfer bis hin zum Tode desselbigen reichen.

Noch relativ harmlos stellt sich eine Bewusstseinsminderung dar. Als typischer Vorgang kann hierbei eine unterschwellige *Commotio* benannt werden, wie sie häufig nach einem harten Kopfball im Fußballsport zu beobachten ist: Nach dem Kopfball ist der Spieler "groggy", taumelt, läuft sinnlos umher oder bleibt stehen und starrt vor sich hin. Häufig wird in der Halbzeitpause über Kopfschmerzen geklagt oder gar erbrochen [58].

Durchaus denkbar sind in einer solchen Phase allerdings die Aspiration von Blut oder auch Erbrochenem aufgrund einer infolge Bewusstlosigkeit auftretenden Verminderung der Schutzreflexe, das durch das Verlegen der Luftwege zu Sauerstoffmangel und schlimmstenfalls zu Ersticken führen kann. Gerade bei Treffern gegen die Nase kommt es leicht zu Nasenbluten. Fällt der Geschädigte noch zu Boden, beispielsweise infolge einer Ohnmacht, wären die Voraussetzungen für eine Blutaspiration gegeben. Darüber hinaus kann eine Aspirationspneumonie, ggf. mit Ausbildung eines Lungenabszesses, auftreten und stellt eine weitere lebensbedrohliche Komplikation dar.

Zudem können infolge eines Kopfstoßes aufgetretene Hämatome infiziert werden, welche, insbesondere wenn sie in enger räumlicher Beziehung zur Frontobasis oder nahe von intrazerebralen Venenplexus liegen, zu aufsteigenden Infektionen mit resultierenden Meningitiden oder Hirnabszedierungen führen können (vgl. hierzu Kap. 2.3.6).

Durchaus vorstellbar wären auch Verletzungen venöser oder ggf. arterieller extra- oder aber auch intrakranieller Gefäße infolge Frakturierung von Schä-

delanteilen, die in tödlichen Blutungen resultieren können.

Letztendlich wäre als denkbare mittelbare Folge eines erhaltenen Kopfstoßes mit Bewusstseinstrübung auch ein Sturzgeschehen auf die Hinterhauptregion anzuführen, welches schwerwiegende Verletzungen der Schädelkalotte und der Hirnsubstanz nach sich ziehen kann. Insbesondere eine beim Getroffenen bestehende Alkoholisierung begründet eine erhöhte Vulnerabilität für derartige Verletzungen [23].

### 2.3.4 Grundlagen zum Schädel-Hirn-Trauma

Zum besseren Verständnis der nachfolgenden Punkte soll hier explizit auf grundsätzliche Angaben der rechtsmedizinischen Literatur zum Themenkomplex “Schädel-Hirn-Trauma” (SHT) eingegangen werden, da ein SHT eine durchaus denkbare Folge eines Kopfstoßes darstellen kann. Zusätzlich sollen die folgenden Grundlagen als Basis für die nachfolgenden biomechanischen Überlegungen und Versuche dienen.

Bereits 1971 hat sich Karl Sellier mit dem Problem der Toleranzwerte des knöchernen Schädels und Gehirns bei mechanischer Gewalteinwirkung befasst. Aus dieser Arbeit geht u.a. hervor, dass bei kleiner Masse eines Körpers eine kleinflächige Gewalteinwirkung mit kurzer Stoßzeit und damit eher ein Biegungsbruch resultiert; bei großen Massen wiederum entsteht ein Berstungsbruch durch großflächige Gewalteinwirkungen und längere Stoßzeiten. Dabei ist zu beachten, dass weniger die Größe der einwirkenden Fläche für die Art des Bruches entscheidend ist, sondern mehr die Dauer des Stoßes, wobei beide Größen miteinander korrespondieren.

Das 2. Newton’sche Gesetz besagt, dass bei konstant einwirkender Kraft die Beschleunigung umso kleiner ist, je größer die gestoßene Masse ist. Dies lässt sich anhand eines kleinen Beispiels illustrieren: Der Kopf eines noch fitten Boxers wird durch den gegnerischen Schlag weitaus weniger beschleunigt, als wenn der Boxer schon erschöpft ist, da der Tonus der Halsmuskulatur und damit die effektive geschlagene Masse sich mit zunehmender Ermüdung ändern. Musste der Gegner anfangs noch Kopf und Rumpf gemeinsam “bewegen”, so wird die effektiv bewegte Masse nach zunehmender Erschlaffung der Halsmuskeln immer geringer, der Kopf wird dadurch stärker beschleunigt [44].

Auch Friedrich Unterharnscheidt führte zahlreiche Untersuchungen zum Schädel-Hirn-Trauma durch. U.a. konnte er aufzeigen, dass je nach Einwirkungs-ort vorwiegend Rotations- oder Translationsbeschleunigungen resultieren mit unterschiedlichen Verletzungsmustern im Schädelinneren/Rückenmark. Dem-

nach entstehen bei Translationsbeschleunigungen Verletzungen am Gehirn diametral entgegengesetzt der Einwirkung im Sinne von Contre-Coup-Läsionen. Im Gegensatz dazu resultieren bei Rotationstraumata durch Zugbelastungen zwischen dem knöchernen Schädel und dem Gehirn infolge seiner Trägheit Subduralblutungen durch Brückenvenenabriss und Subarachnoidalblutungen vorwiegend in der Mittellinie. Zudem können derartige Kräfte durch Dehnung von Rückenmarksgefäßen weit ab vom Einwirkungsort zu Einblutungen führen [45, 48, 54, 55].

### 2.3.5 Subarachnoidalblutung

Subarachnoidalblutungen (SAB), also Blutungen zwischen Pia mater und Arachnoidea, treten häufig bei traumatischen Läsionen des Gehirns auf, besonders im Bereich von Rindenprellungsherden, und sind meistens venöser Genese. Sie sollen durchaus auch durch einen Kopfstoß ausgelöst werden können, wie der Fall von Stan et al. von 1996 aufgezeigt hat (siehe Punkt 2.3.2). Arterielle Blutungen können an der Hirnbasis beobachtet werden, z.B. infolge einer Aneurysmaruptur oder anderweitig pathologisch veränderter Arterien. Während die meisten basalen Subarachnoidalblutungen aus Aneurysmen spontan eintreten, können auch traumatisch bedingte Rupturen von Hirnbasisgefäßen entstehen, ohne dass Schädelbrüche oder Hirnkontusionen vorliegen müssen. Der Fall von Stan et al. ist ein gutes Beispiel für eine derartige Blutung. Der Rupturmechanismus wird als rein mechanisch angesehen: Bei exzentrischen Schlägen ins Gesicht kommt es zu einer brusken Drehbewegung des Kopfes mit erheblicher Rotationsbeschleunigung, die zu einer Relativbewegung zwischen Gehirn und den am Schädelgrund fixierten Gefäßen führt. Je nach Stoßrichtung und gegebenen anatomischen Verhältnissen wirken sich die Zug- und Druckspannungen an unterschiedlichen Gefäßabschnitten aus. Des Öfteren können Subarachnoidalblutungen als Folge von Bagatelltraumata bei Schlägereien im alkoholisierten Zustand beobachtet werden, wie nachfolgende Fallbeispiele belegen. Durch Alkoholisierung wird der Muskeltonus der Halsmuskulatur herabgesetzt und begünstigt somit die Beschleunigung des Kopfes durch einen Stoß/Schlag. Zudem können die Reflexe, um beispielsweise dem Gegner auszuweichen, dadurch auch verlangsamt sein. Des Weiteren steigert Alkoholenuss das Risiko einer Blutung durch direkte Vasodilatation der Hirngefäße [18, 20, 21, 46, 49, 52].

#### Fallbeispiele

In der Literatur finden sich zahlreiche Beispiele für Subarachnoidalblutungen (SAB) ohne Schädelfraktur, meist in Folge von Faustschlägen. Bisher wurde

### 2.3. DENKBARE UNMITTELBARE UND MITTELBARE FOLGEN DES KOPFSTOSSES

---

lediglich ein Fall einer SAB nach Kopfstoß beschrieben (siehe 2.3.2). Da der Verletzungsmechanismus einer SAB nach einem Faustschlag dem nach einem Kopfstoß ähnlich ist und es einen beschriebenen Fall gibt, soll hier auf ausgewählte Faustschlagfälle eingegangen werden. In Tabelle 2.2 sind einige Fälle von Subarachnoidalblutungen infolge stumpfer Gewalteinwirkung gegen den Schädel aufgelistet, bei denen keine Kalottenfraktur auftrat. Wie in Punkt 2.3.5 bereits angemerkt, wurde in den meisten der in Tabelle 2.2 aufgelisteten Fälle Alkoholisierung des Opfers nachgewiesen.

2.3. DENKBARE UNMITTELBARE UND MITTELBARE FOLGEN  
DES KOPFSTOSSES

Autoren	Alter, Geschlecht des Opfers	Vorgeschichte, Überlebenszeit	Alkoholisierung des Opfers	Art des Gefäßrisses
Krauland und Stögbauer (1961)	36 J., ♂	Schläge gegen Hinterkopf/Nacken, Faustschläge gegen Kinn; 40 min	+	querer Einriss der rechten A. cerebelli inferior posterior
	63 J., ♂	Faustschlag gegen Kinn und Hals; 30 min	+	Ausriss des linken Ramus communicans posterior der A. carotis interna
Klages (1970)	41 J., ♂	Schlägerei, Faustschlag gegen Hals oder Gesicht; 45 min	+	Ausriss der linken A. vertebralis aus der A. basilaris
	21 J., ♂	Schlägerei mit verschiedenen Schlagwerkzeugen; Minuten	+	Einriss der linken A. cerebelli inferior anterior
	24 J., ♂	Schlägerei; Minuten	+	Abriss der linken A. vertebralis aus der A. basilaris
	18 J., ♂	Schlag gegen Hals oder Kopf; Minuten	?	0,1 cm Riss der A. communicans posterior; unverletztes Aneurysma der A. cerebri posterior links
Coast und Gee (1984)	44 J., ♂	Faustschlag gegen Kopf; Minuten (?)	+	0,5 cm Riss der linken intrakraniellen A. vertebralis

2.3. DENKBARE UNMITTELBARE UND MITTELBARE FOLGEN  
DES KOPFSTOSSES

	38 J., ♀	Faustschlag ins Gesicht; –	+	0,8 cm Längsriss der rechten intrakraniellen A. vertebralis
	50 J., ♂	Hämatome der Kopfhaut und linken Gesichtshälfte; –	–	0,65 cm Längsriss der linken intrakraniellen A. vertebralis
	17 J., ♂	Schlägerei; –	+	0,6 cm Längsriss der rechten intrakraniellen A. vertebralis
	17 J., ♂	Faustschlag, Tritt; 2 d	–	0,5 cm Längsriss der rechten intrakraniellen A. vertebralis
Maxeiner (1989)	47 J., ♂	Schlag zu Boden, Tritte; Jochbogen- und Maxillafraktur; 8 d	+	annähernd vollständiger Riss der linken A. cerebelli inferior posterior
Miyazaki et al. (1990)	37 J., ♀	Mehrere Faustschläge und Tritte gegen Kopf/Gesicht; 6 h	+	1 cm Längsriss der linken intrakraniellen A. vertebralis
	51 J., ♀	Faustschläge gegen Kopf und Gesicht; 4 h	+	0,9 cm Längsriss der linken A. vertebralis
Miltner und Schmitt (1991)	19 J., ♂	Tritt gegen Kopf, 7 d	–	dissezierende Wandruptur der linken A. cerebri anterior und media
Boström et al. (1992)	20 J., ♂	Karateschlag gegen den Hals; 1 d	+	0,2 cm Riss der A. cerebellaris posterior inferior
	24 J., ♂	3 Faustschläge ins Gesicht; Stunden	+	0,2 cm Riss der A. cerebellaris posterior inferior

### 2.3. DENKBARE UNMITTELBARE UND MITTELBARE FOLGEN DES KOPFSTOSSES

Takahara et al. (1993)	51 J., ♂	Faustschlag ins Gesicht; 16 h	+	0,4 cm Längsriss der A. vertebralis sinistra
Contostavlos (1995)	25 J., ♂	Faustschläge; Stunden (?)	?	multiple Wandeinrisse der linken A. vertebralis
Asai et al. (1996)	36 J., ♂	Faustschlag auf das Kinn; 4 d	+	0,3 cm Längsriss der intrakraniellen linken A. vertebralis
<b>Stan et al. (1996)</b>	33 J., ♂	<b>Kopfstoß</b> rechtsseitig gegen Stirn; –	+	Ruptur der A. basilaris; zudem noch Einriss des pontomedullären Übergangs

Tabelle 2.2: Subarachnoidalblutungen nach stumpfer Gewalt gegen den Kopf ohne Kalottenfraktur

[1, 7, 12, 13, 18, 21, 25, 28, 29, 49, 51]

#### 2.3.6 Nasenpyramiden-, Mittelgesichts- und Frontobasisfrakturen

Nasenpyramidenfrakturen sind nach Kopfstößen eine häufig gesehene Fraktur. Demgegenüber dürften zentrale Mittelgesichts- und Frontobasisfrakturen – folgt man den spärlichen Literaturangaben – nach Kopfstößen eher seltener auftreten, auch wenn sie durchaus denkbare Komplikationen darstellen.

##### Nasenpyramidenfraktur

Durch ihre exponierte Lage im Gesicht ist die Nasenpyramide für Frakturen prädestiniert. Unterschieden wird zwischen offenen und geschlossenen Frakturen.

Liegt eine Nasenseptumfraktur unter geschlossener Schleimhaut vor, kann es zu subperichondraler Einblutung mit Hämatombildung kommen. Dies kann bei Infektion zu einem Septumabszess führen, der schlimmstenfalls über korrespondierende Venenplexus eine Meningitis nach sich ziehen kann (Abb. 2.1) [34].

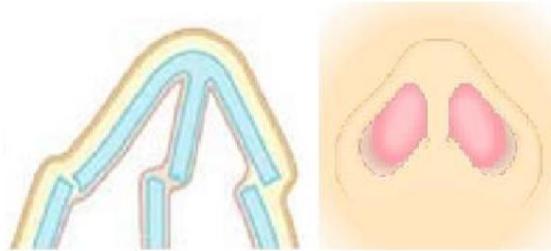


Abbildung 2.1: Nasenbeinfraktur und Nasenseptumhämatom schematisch [6]

### Zentrale Mittelgesichts- und Frontobasisfraktur

In aller Regel treten zentrale Mittelgesichts- und Frontobasisfrakturen bei polytraumatisierten Unfallopfern (Verkehrsunfälle) auf. Allerdings können sie laut Probst et al. [34] auch bei Bagatelltraumata vorkommen oder iatrogen bedingt sein, da die knöchernen Anteile der vorderen Schädelbasis teilweise äußerst dünn sind (z.B. Lamina cribrosa).

Frontobasisfrakturen nehmen unter den Schädelfrakturen eine Sonderstellung ein, da sie meist als indirekt offenes Trauma imponieren, also eine Kommunikation über die Nasenöffnung zwischen Schädelinnerem und Außenwelt vorliegt. Dadurch kann es über die angrenzenden Nasennebenhöhlen zu aufsteigenden Infektionen mit lebensgefährlichen intrakraniellen Komplikationen wie Hirnabszess oder Meningitis kommen (siehe dazu auch den oben beschriebenen Kopfstoßfall von Rimal et al. in Punkt 2.3.2). Zudem besteht die Gefahr einer intrakraniellen Blutung.

Die zentralen Mittelgesichtsfrakturen werden nach LeFort eingeteilt. Dabei beschreibt LeFort I die isolierte Absprengung des Alveolarkammes, LeFort II die pyramidale Absprengung der Maxilla und LeFort III den Abriss des Gesichtsschädels von der Schädelbasis (Siehe auch Abb. 2.2).

Frontobasisfrakturen sind "knöcherne Verletzungen an der vorderen Schädelbasis und den benachbarten Nasennebenhöhlen" und werden in Abhängigkeit des Frakturverlaufes und der -lokalisation in vier Typen nach *Escher* eingeteilt. Escher I beschreibt die hohe-, Escher II die mittlere-, Escher III die tiefe- und Escher IV die lateroorbitale Fraktur (Abb. 2.2) [34].

## 2.3. DENKBARE UNMITTELBARE UND MITTELBARE FOLGEN DES KOPFSTOSSES

---

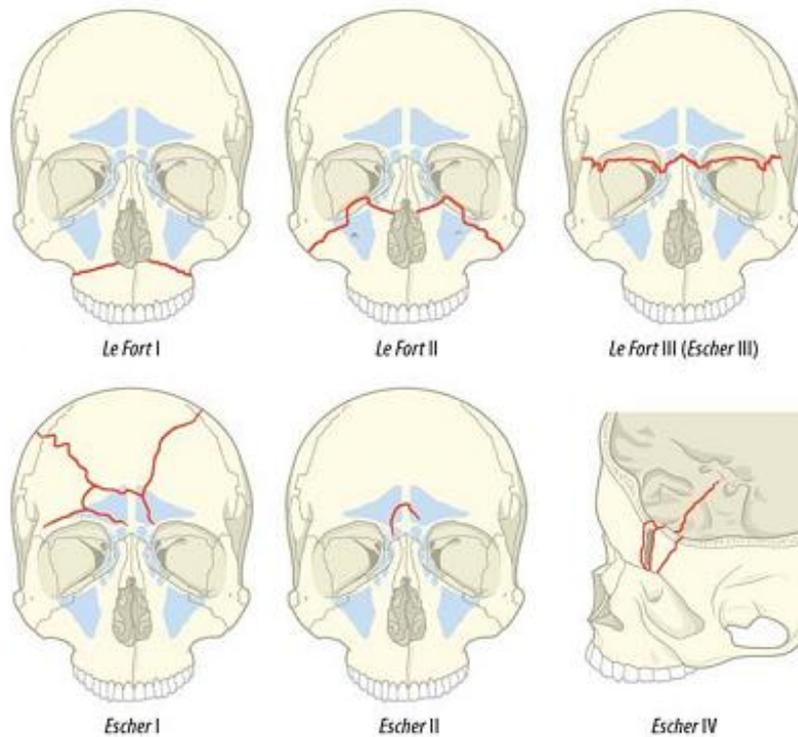


Abbildung 2.2: Einteilung der Gesichtsschädelfrakturen nach LeFort und Escher

[6]

### 2.3.7 Subduralblutung

Subduralhämatome (SDH), d.h. Blutungen zwischen Dura mater und Arachnoidea, sind häufige Begleitbefunde bei stumpfen Kopftraumata und sind auch heute noch nicht selten tödlich. Da laut Maxeiner [26, 27] gerade isolierte SDH häufig nach sog. Bagateltraumata auftreten, wäre eine Subduralblutung nach einem Kopfstoß grundsätzlich denkbar. Zusätzliche prädisponierende Faktoren für eine SDH sind Gerinnungsstörungen, Marcumar-Einnahme oder Alkoholabusus.

Unterschieden wird ein Spektrum zwischen kleinen Blutungen als Neben-

### 2.3. DENKBARE UNMITTELBARE UND MITTELBARE FOLGEN DES KOPFSTOSSES

---

befund und ausgedehnten, raumfordernden Blutungen. Subduralhämatome können als Bestandteil des Symptomenkomplexes Hirnverletzung, Schädel-fraktur und Subduralblutung oder als isolierte Blutung auftreten. Während SDH aus Kontusionen bei allen Formen von Kopftraumen zu beobachten sind, finden sich isolierte Subduralhämatome in bis zu 30% aller Fälle von SDH oft nach sog. Bagatelltraumata mit dann eher geringen oder fehlenden begleitenden Kopf- oder Gesichtsverletzungen. Isolierte Subduralblutungen kommen selten bei eindeutigen Stürzen vor, finden sich jedoch weit häufiger nach Fremdeinwirkung (gemeint sind direkte Schläge gegen den Kopf) oder bei unklaren Umständen, wo eine Fremdeinwirkung als wahrscheinlich betrachtet wird (siehe auch Abb. 2.3). Stellt man die intrakraniellen Verletzungsformen den Lokalisationen der Gewalteinwirkung gegenüber, so zeigt sich eine Häufung der isolierten Subduralhämatome frontal gegenüber lateral und occipital, wie in Abbildung 2.4 deutlich wird.

Subduralblutungen infolge von Brückenvenenverletzungen entstehen durch rasch einsetzende und hohe Winkelbeschleunigungskräfte des Kopfes. Tierexperimentelle Studien zeigen, dass ab einer Winkelbeschleunigung von ca.  $1 \times 10^5 \text{ rad/s}^2$  Rupturen in den Brückenvenen verursachbar sind. Dabei ist anzumerken, dass sich die Brückenvenen im menschlichen Körper deutlich von anderen Körpervenen unterscheiden: ihre Belastbarkeit ist viel geringer, Rupturen treten ab  $0,5 \text{ N/mm}^2$  auf, bei hoher Dehnungsgeschwindigkeit sogar bereits ab einer Gefäßdehnung von 20%. Zudem sind Brückenvenen besonders gegenüber schnellen Akzelerationen ( $<10 \text{ ms}$ ) empfindlich.

Winkelbeschleunigungen, die die Brückenvenen reißen lassen, treten v.a. bei Stürzen und bei exzentrischen Schlägen gegen den Kopf auf, der Großteil von tödlichen Subduralblutungen entsteht infolge dieser Einwirkungstypen [26, 27].

### 2.3. DENKBARE UNMITTELBARE UND MITTELBARE FOLGEN DES KOPFSTOSSES

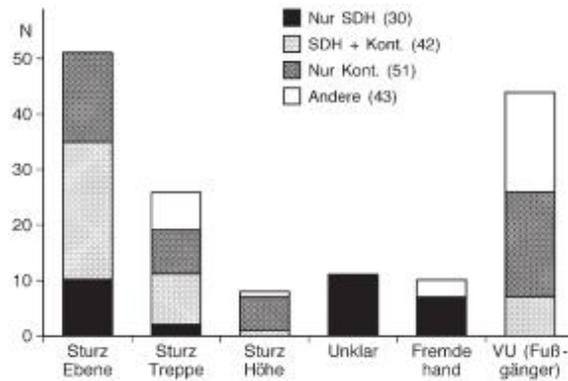


Abbildung 2.3: Gegenüberstellung von Traumaursachen und -folgen bei 166 tödlichen Schädelhirntraumata. Traumatypen “nur Kontusionen”, “isoliertes Subduralhämatom”, “Kontusionen mit SDH” sowie alle anderen Verletzungsformen.

[26]

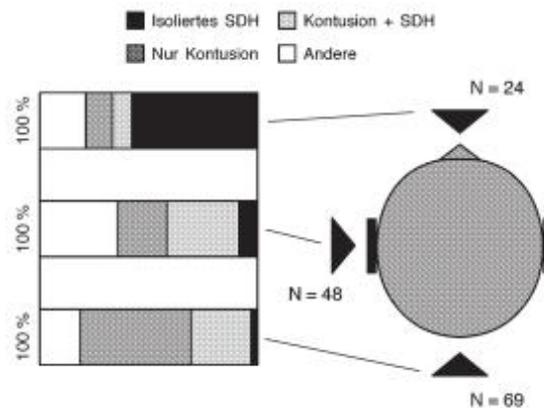


Abbildung 2.4: Intrakranielle Verletzungsformen in Bezug auf den Ort der Gewalteinwirkung

[26]

### 2.3.8 Traumatische Thrombosen

In der forensischen Literatur sind Fälle beschrieben, bei denen Thrombosen der Arteria carotis interna nach Gesichts- bzw. Kopfverletzungen auftraten. Unter anderem beschrieb Ziegan 1969 [61] einen Fall eines Innenschichtnisses der Arteria cerebri media sinistra mit nachfolgender tödlicher Thrombose nach einem Faustschlag gegen das Kinn. Als Verletzungsmechanismus wurde von Relativbewegungen zwischen Hirnmasse und Gefäßstielen an der Hirnbasis nach Rotationsbeschleunigungen ausgegangen (siehe auch Punkt 2.3.5). Ein entsprechend geführter Kopfstoß könnte ebenfalls zu Rotationsbeschleunigungen des Kopfes und damit zu einer derartigen Verletzung führen.

Als grundsätzlicher Mechanismus für traumatische Thrombosen wird die Hyperextensionsbewegung des Kopfes genannt. (Abb. 2.5) Durch Überstreckung des Halses kann die A. carotis interna über knöchernen Vorwölbungen des Atlas und Axis gespannt werden und dadurch Schaden nehmen. Besonders wenn die Hyperextensionsbewegung in Verbindung mit Rotation im Atlanto-Axial-Gelenk und ggf. noch Flexion des Kopfes zur Gegenseite auftritt, wie beispielsweise bei einem Stoß/Schlag ins Gesicht, scheint die A. carotis interna besonders vulnerabel zu sein für Dehnungstraumata über dem 1. und 2. Halswirbel. Auch im bereits mehrfach zitierten Kopfstoßfall von Stan et al. wurde eine derartige Hyperextensionsbewegung des Kopfes beschrieben. Demnach dürfen auch bei Kopfstößen traumatische Thrombosen der hirnzuführenden Gefäße nicht ausgeschlossen werden [22, 49].

### 2.3.9 Tentoriumriss

Tentoriumseinrisse werden insbesondere beim Geburtsvorgang beobachtet, können aber auch beim Erwachsenen in seltenen Fällen auftreten, beispielsweise durch Hinfallen oder durch Schläge gegen den Kopf. Zwei dieser Fälle werden im Folgenden näher beschrieben. Dass es nach einem Kopfstoß zu einer Ruptur des Tentoriums kommt, ist denkbar, allerdings ist ein solcher Fall bisher nicht berichtet worden.

Grundsätzlich werden Risse unterschieden, die senkrecht zur freien Kante entlang der Faserzüge der Falx cerebri gerichtet sind und solche, die das Tentorium in seinem hinteren Drittel meist senkrecht zur Randlinie in allen Schichten betreffen. Im letzteren Fall geht der Riss meist mit stärksten Blutungen einher, da die größten Venen eingerissen werden. Der Einriss kann durch Kompression des Schädels von vorne nach hinten mit der Folge einer vermehrten Querspannung der Felsenbeine und der freien Tentoriumsränder

### 2.3. DENKBARE UNMITTELBARE UND MITTELBARE FOLGEN DES KOPFSTOSSES

---

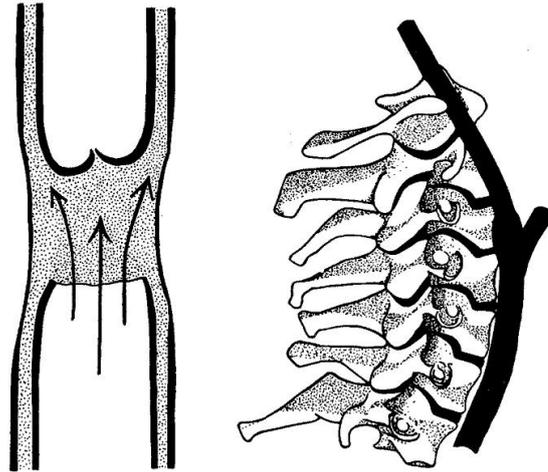


Abbildung 2.5: Mechanismus der Intimazerrung und -dissektion nach Dehnungstraumata

[22]

eintreten. Da beim Erwachsenen die Schädelnähte geschlossen sind und damit die Verschieblichkeit des Schädelinhaltes nicht mehr in der Form wie beim Neugeborenen gegeben ist, tritt diese Form der Verletzung äußerst selten in Erscheinung, da bei solch starken Kräften meist zuerst das Schädeldach bricht [4].

Dass eine derartige Verletzungen aber auch gesondert von Schädelbrüchen auftreten können, zeigen die folgenden Fallbeschreibungen.

Rudolf Beneke beschrieb 1912 einen Fall [4], bei dem durch einfaches Hinfallen auf das Gesicht nach Umrenpeln durch einen Radfahrer ohne jegliches Zeichen von äußeren Gewalteinwirkungen und völlig intaktem Schädel eine so hochgradige Zerrung der Dura mater entstand, dass ein 2 cm tiefer Querriss des Tentoriums die Folge war. Dieser Fall illustriert die erstaunliche Biegsamkeit des im beschriebenen Fall eher spröden Schädels einer 75-jährigen und den möglichen Rückschluss auf ähnliche Gewalteinwirkungen mit gleichartigen Folgen auf das Tentorium.

Ein weiterer Fall wurde 1935 von Anton Werkgartner beschrieben [59]. Dabei kam es bei einem Amateur-Boxkampf zu einem Faustschlag auf die Kinnsplit-

ze. Daraus resultierte ein Tentoriumriss knapp links der Mittellinie vom freien Rand her mit tödlicher intrakranieller Blutung bei abermals völlig unverletztem Schädel. Durch den Schlag auf die Kinnschuppe kam es wohl zu einer Abplattung des Schädels mit Überspannung und Einriss des Tentoriums. Im beschriebenen Fall war die Verformung wahrscheinlich leichter möglich, da die Schädelwand sehr dünn und der Betroffene erst 20 Jahre alt war und einen dementsprechend elastischen Schädel aufwies. Ein solcher Mechanismus kann ungewollt auch auf einen Kopfstoß übertragen werden.

## 2.4 Der Faustschlag und seine möglichen Folgen

Die vorliegende Arbeit greift die Thematik des Faustschlages mit auf, da durchaus Analogien zwischen Faustschlag und Kopfstoß bestehen. Im Institut für Rechtsmedizin wurden die forensisch-biomechanischen Aspekte des Faustschlages bereits 2008 von Bremer und Graw eingehend untersucht [8]. Dabei zeigten sich Schlaggeschwindigkeiten von ca. 9 m/s bei sehr unterschiedlichen Ausführungsarten. Ein Leistungsboxer kann die biomechanische Kette (Oberkörper-Oberarm-Unterarm-Hand) besser nutzen als ein Amateur; dies kann durch die sog. effektive Masse quantifiziert werden (beim erfahrenen Boxer wird nicht nur die Masse der Faust, sondern auch teilweise der weiteren Körpersegmente genutzt und die Stoßenergie bzw. der Impuls dadurch erhöht). Bezogen auf die vorliegende Arbeit ist die Gegenüberstellung von Faustschlag und Kopfstoß dahingehend interessant, dass zwar geringere Kopfgeschwindigkeiten gemessen werden (ca. die Hälfte des Faustschlages), aber die Masse allein des Kopfes die des Armes übersteigt. Zudem wäre theoretisch denkbar, dass je nach Ausführungsart nicht nur die Masse des Kopfes, sondern auch Teile des Oberkörpers in die bewegte Masse mit einfließen. Dies hat die Studie von Schneider allerdings widerlegt [39]. Da die kinetische Energie sich aus ein halb mal der Masse mal der Geschwindigkeit im Quadrat ergibt,

$$E_{kin} = \frac{1}{2}mv^2 \quad (2.1)$$

sind sowohl die Spitzengeschwindigkeiten als auch die beim Stoß effektiv wirkende Masse von großer Bedeutung.

Die nachfolgenden Punkte sollen über Eckdaten zum Thema Faustschlag informieren, um anschließend Vergleiche hinsichtlich der Gefährlichkeit ziehen zu können.

### 2.4.1 Biomechanische Voruntersuchungen

Zur Schlagkraft beim Boxen wurden einige Versuchsaufbauten beschrieben. Dabei analysierten Atha et al. [2] und Smith et al. [47] stellvertretend für den menschlichen Körper z.B. ein ballistisches Pendel, einen uniaxialen Belastungsmesser, mit Instrumenten ausgestattete Boxsäcke, wassergefüllte elastische Säcke und Boxdynamometer.

Atha et al. ließen ein Profi-Schwergewicht gegen ein ballistisches Pendel schlagen. Sie maßen dabei Spitzenkräfte von 4096 N, was schätzungsweise einen Schlag von bis zu 6320 N gegen den Kopf darstellt, sowie Geschwindigkeiten von bis zu 8-9 m/s und Beschleunigungen von bis zu 520 m/s<sup>2</sup> [2].

Smith et al. entwickelten ein Boxdynamometer, um die maximale Schlagkraft zu messen. 23 Boxer wurden in die Kategorien "Elite", "Intermediär" und "Anfänger" eingeteilt und dazu angeleitet, einen birnenförmigen Boxsack, der an einer Wand befestigt war, an der "Kopfgion" zu treffen. Dabei wurden folgende maximalen Schlagkräfte gemessen (Tabelle 2.3):

	Elite	Intermediär	Anfänger
<b>Schlaghand</b>	4800 N	3722 N	2381 N
<b>Führhand</b>	2847 N	2283 N	1604 N

Tabelle 2.3: Mittelwerte der maximalen Schlagkraft bei Boxern [47]

Whiting, Gregor und Finerman nutzten zur kinematischen Analyse der Armbewegung beim Boxen zwei synchronisierte Kameras, die vier erfahrene Boxer bei der Ausführung von sog. "Jabs" (kurze Gerade) und "Hooks" (Haken) aufzeichneten. Bei jedem Boxer wurden an Schulter, Ellenbogen, Handgelenk und Handschuh 3D-Koordinaten als Marker angebracht. Die Durchschnittsgeschwindigkeiten bei Kontakt mit dem Boxsack reichten von 5,9 bis 8,2 m/s mit Spitzengeschwindigkeiten von 6,6 bis 12,5 m/s, diese wurden jeweils 8-21 ms vor dem Kontakt von Boxhandschuh mit dem Boxsack erreicht. Diese Ergebnisse decken sich mit denen von Bremer und Graw [8]. Dabei führten Jabs eher zu linearen Beschleunigungen, während Hooks mehr Winkelbeschleunigungskräfte hervorriefen [60].

Um diese Geschwindigkeiten in ein verständliches Verhältnis zu rücken, sei hierbei angemerkt, dass bei Faustgeschwindigkeiten von 8 m/s eine Kopfbeschleunigung von etwa 260 g resultieren würde, was die anerkannten Verlet-

zungsindices überschreitet [17].

Viano et al. führten Versuche zu Boxschlägen durch, um die physikalischen Gegebenheiten mit denen beim American Football zu vergleichen. Olympische Boxer führten hierzu vier verschiedene Schlagtypen (Hooks, Uppercuts (sog. Aufwärtshaken), Jabs; gegen Stirn und Kiefer geführt) gegen einen Instrumenten-bestückten Hybrid III Dummy aus. Es wurden die Translations- und Winkelbeschleunigungen sowie die Genickbeanspruchung im Dummy ermittelt. Mit einer Hochgeschwindigkeitskamera wurde jeder Schlag dokumentiert. Die Antworten des Dummies und das Computermodell durch finite-Elemente-Simulation des Gehirns wurden mit ähnlich gemessenen Antworten von rekonstruierten Gehirnerschütterungen in der NFL verglichen. Daraus ergab sich, dass das Head Injury Criterion (HIC) für Boxschläge wegen der kürzeren Beschleunigungsdauer niedriger war als für die rekonstruierten Daten der Gehirnerschütterungen in der NFL [57].

### 2.4.2 Fallbeispiele aus der Literatur

Dass ein Faustschlag zu einem Schädelbruch führen kann, ist in der Literatur beschrieben worden [5, 16, 19, 30]. Bereits 1921 berichtete Hulst von einem Fall, bei dem höchstwahrscheinlich durch einen Faustschlag eine Schläfenbeinfraktur bei auffallend dünnem Schädel mit Tod durch Hirndruck aufgrund Subduralhämatom resultierte.

1924 beschrieb Kratter einen Vorfall, bei dem es ebenfalls zu einem Schläfenbeinbruch nach mehreren Faustschlägen gegen den gegen die Wand fixierten Schädel kam. Auch hier war der Knochen des Schädels eher dünn, es fanden sich große Hämatome epi- und subdural.

Des Weiteren berichtete Molitoris 1930, dass ein Mann infolge eines Faustschlages auf das rechte Auge nach fünf Tagen an einer eitrigen Gehirnhautentzündung verstarb. Bei der Obduktion fanden sich Brüche des Augenhöhlendaches rechts mit einer Frakturlinie, die das Siebbein entlang verlaufend bis zum Keilbeinflügel reichte.

Besonders eindrücklich ist der von Berg 1933 geschilderte Fall (siehe Abb. 2.6): Durch einen Faustschlag eines Mitschülers erlitt ein 15-jähriger Schüler einen Biegungsbruch des linken Schläfenbeines, der zu einer tödlichen Meningealblutung führte. Dabei war das Schläfenbein mit einer Knochendicke von 0,6 mm verhältnismäßig dünn (Schwankungsbreite laut Autor zwischen 0,5 und 1 mm beim Opferschädel), wodurch der Schädel leicht eingedrückt werden konnte.

Auch der von Fenton et al. 2003 beschriebene Fallbericht veranschaulicht den Zusammenhang zwischen Faustschlägen und Schädelbruch: Ein 33-jähriger

## 2.4. DER FAUSTSCHLAG UND SEINE MÖGLICHEN FOLGEN

---

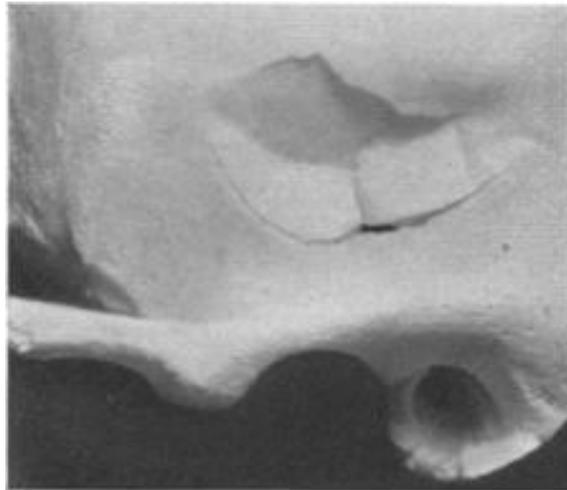


Abbildung 2.6: Schädelbruch durch Faustschlag  
[5]

alkoholisierter Mann erlitt eine temporo-parietale Impressionsfraktur nach einer Schlägerei mit einem anderen Mann und erlag seinen Hirnverletzungen wenig später. Interessanterweise hatte der Verstorbene zehn Jahre vor dem besagten Vorfall eine Kraniotomie rechts temporo-parietal erhalten, die Dicke des Knochenstücks war halb so dick wie auf der Gegenseite. In eben diesem Schädelblättchen lag nun der neue Defekt. Zusätzlich war der Kopf des Opfers links gegen den Asphalt gedrückt worden und hatte damit ein Widerlager geboten. All jene Gegebenheiten prädisponierten den Verstorbenen für die Schädelfraktur. [15]

Diese Fallbeispiele zeigen auf, dass es möglich ist, einen Schädel nur durch einen oder auch mehrere Faustschläge zu brechen. Ob sich die Kräfte, die bei einem Faustschlag auftreten, auch auf einen Kopfstoß übertragen lassen, soll in dieser Arbeit untersucht werden.

# Kapitel 3

## Fragestellung

In dieser Arbeit gilt es zu überprüfen, inwieweit ein Kopfstoß das Leben eines Opfers gefährden kann, ob also ein Kopfstoß eine das Leben gefährdende Behandlung darstellen kann bzw. ob dieser Nahkampftechnik grundsätzlich oder aber nur streng vom konkreten Fall abhängig eine Lebensgefährdung zuzurechnen ist.

Um Aussagen zur Lebensgefährlichkeit zu gewinnen, werden im Folgenden anhand zugrunde liegender Literaturangaben biomechanische Versuche zur Ermittlung der Kopfgeschwindigkeiten und daran abgeschätzt der Kräfte durchgeführt, die während eines Kopfstoßes wirken. Zudem werden retrospektive Daten von Fällen sowohl aus dem Archiv des Instituts für Rechtsmedizin als auch aus dem Zentralarchiv der HNO-Klinik München Großhadern ausgewertet und analysiert.

Die zentralen Punkte dieser Arbeit sind somit zum einen die experimentelle Darstellung der Kräfte, die im Rahmen eines verabreichten Kopfstoßes auftreten, zum anderen die explorative Datenauswertung bereits vorliegender Archivfälle, woraus Aussagen zur Lebensgefährlichkeit eines Kopfstoßes getroffen werden sollen.

# Kapitel 4

## Material und Methoden

### 4.1 Archivrecherchen

Es wurden Fälle aus mündlichen Gutachten zwischen 2004-2008 in Aktenform sowie schriftliche Gutachten aus den Jahren 1996-2009 aus dem elektronischen Archiv – in Form von Computerdokumenten – des Instituts für Rechtsmedizin untersucht. Dabei lag das Augenmerk auf Körperverletzungsdelikten (sowohl einfache als auch gefährliche Körperverletzung) sowie Tötungsdelikten. Die Fälle wurden nach Alter, Geschlecht, Blutalkoholgehalt des Täters (soweit rekonstruierbar), Hergang, Verletzung und Verletzungsfolgen aufgeschlüsselt. Die gesammelten Daten wurden in Tabellenform dargestellt und statistisch mittels Microsoft Excel 2007 ausgewertet.

Darüber hinaus wurden Fälle aus der HNO-Abteilung des Klinikums Großhadern zwischen 1996 und 2008 bearbeitet. Dazu wurden im Zentralarchiv des Klinikums Großhadern der Universität München sowohl Patientenakten in analoger Form als auch auf Mikrofilm eingesehen. Dabei wurden insbesondere die Fälle ausgewählt, bei denen die Opfer das Leben gefährdende Verletzungen aufwiesen. Es wurden die ICD-9 Schlüsselnummern 801 bis 803 sowie die ICD-10 Nummern S02.1, S02.7, S02.8 und S02.9 (siehe dazu Tabellen 5.1 und 5.2) eingeschlossen. Die erhobenen Daten wurden in Form eines anonymisierten Aktenauszuges nach Jahr, Alter, Geschlecht, Verletzungsgeschehen und Verletzungsart ausgewertet (siehe hierzu die Tabellen 5.3 und 5.4). Zudem wurde eine Übersicht der Verletzungen nach erhaltenem Faustschlag erstellt.

## 4.2 Labormessungen zum Kopfstoß

### 4.2.1 Vorbemerkungen

Der experimentelle Teil der vorliegenden Arbeit wurde in Zusammenarbeit mit dem Institut für Sportwissenschaften und Sport der Universität der Bundeswehr München durchgeführt.

Alle 17 Probanden nahmen freiwillig an den Experimenten teil und wurden über den genauen Ablauf aufgeklärt. Sie stimmten sowohl mündlich als auch schriftlich den Experimenten zu. Es wurde Gelegenheit zu Testläufen gegeben und es bestand zu jeder Zeit die Möglichkeit, den Versuch abzubrechen.

### 4.2.2 Versuchsaufbau

Es wurde ein handelsüblicher Fußball (Innendruck 0,8 bar) mittig über einer Kraftmessplatte der Firma Kistler Instrumente AG mittels Maler-Krepp so aufgehängt, dass der Ball durch geringe Berührung sofort abfiel. Acht Eagle Digital Infrarot-Hochgeschwindigkeitskameras der Firma Motion Analysis Inc. wurden kreisförmig um das Ballpendel im Abstand von ca. 4-5 Metern angeordnet. Zusätzlich wurde der Versuchsablauf von einer NTSC-Videokamera der Firma Sony aufgezeichnet. Die Abbildung 4.1 zeigt die Anordnung der acht Kameras sowie den Standort der Versuchsperson und des Ballpendels auf. In der Abbildung 4.2 sieht man eine Großaufnahme der Versuchsperson als "Strichmännchen" mit dem aufgehängtem Ball. Der Ball wurde in Richtung der y-Achse gestoßen.

Sowohl der Ball als auch die Probanden wurden mit Reflektormarkern versehen, die mit einer Spezialfolie der Firma 3M beklebt waren. Die Lage der sieben Marker auf dem Körper ist der Tabelle 4.1 zu entnehmen. Auch der Fußball wurde mit drei Markern ausgestattet, jeweils links, rechts und hinten, sodass insgesamt zehn Marker verwendet wurden.

Die Probanden konnten die Höhe des Balles sowie die Art der Ausführung des Kopfstoßes jeweils selbst bestimmen. Es wurde ihnen lediglich die Vorgabe gemacht, den Ball einmal so zu treffen, wie man einer Person einen überraschenden Kopfstoß verpassen würde, und einmal mit maximaler Wucht.

Der Versuchsablauf wurde in Echtzeit auf einem handelsüblichen Computer mittels der Software Cortex 1.1.4.368 der Firma Motion Analysis Inc. aufgezeichnet und verarbeitet.

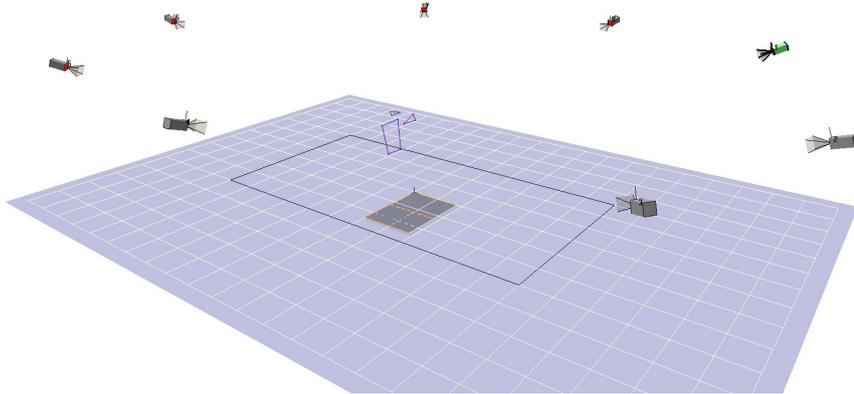


Abbildung 4.1: Überblick über die Versuchsanordnung: Die acht Eagle Digital Kameras sind kreisförmig um die Kraftmessplatte und die Versuchsperson mit dem Ballpendel platziert.

Bezeichnung	Lage
Kopf links	Fossa temporalis sinistra
Kopf rechts	Fossa temporalis dextra
Kopf hinten	Protuberantia occipitalis externa
Schulter links	Acromion sinister
Schulter rechts	Acromion dexter
Hüfte links	Spina iliaca anterior superior sinistra
Hüfte rechts	Spina iliaca anterior superior dextra

Tabelle 4.1: Lage der Reflektormarker

### 4.2.3 Bewegungsanalysesystem

Die Versuche wurden unter Zuhilfenahme eines passiven optischen Bewegungsanalysesystems der Firma Motion Analysis Inc. durchgeführt (*Eagle Digital RealTime System*), welches aus acht Eagle Digital Kameras, der Cortex-Software und einer analogen Kamera von Sony besteht. Die Abbildung 4.3 zeigt eine der Kameras. Jede Eagle Digital Kamera hat eine Auflösung von 1,3 Millionen Pixeln bei 1280 x 1024 Vollauffösung mit bis zu 500 Frames pro Sekunde und eine Verrechnungsrate von 600 Millionen Pixeln pro Sekunde. Um die 55 mm Linse sind 237 LEDs rechteckig angeordnet, welche

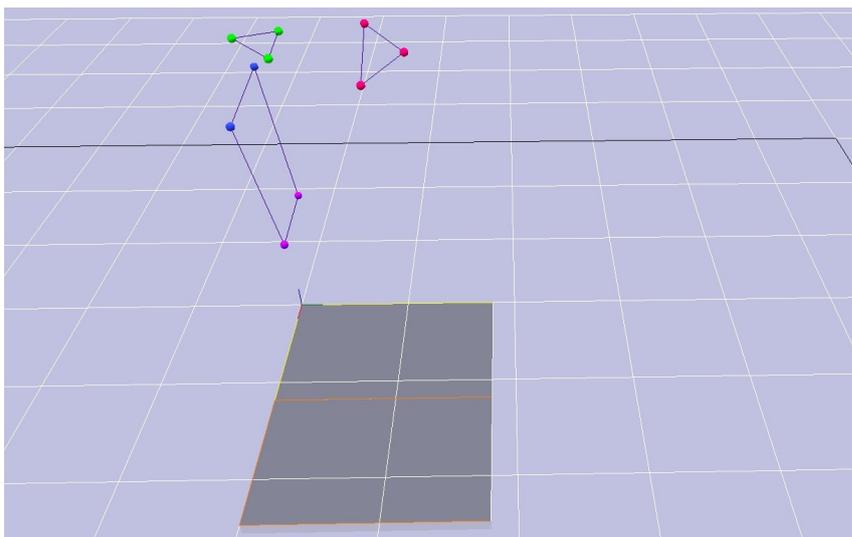


Abbildung 4.2: Eine Großaufnahme der Versuchsperson mit dem Ballpendel. Die Marker der Schultern sind jeweils blau, die der Hüften lilafarben. Der Kopf ist mit drei grünen Markern, der Ball mit pinken ausgestattet.

Rotlicht abstrahlen, das von mit 3M-Folie ausgestatteten Markern reflektiert und über die Linse wieder aufgenommen wird. Dieses Signal wird direkt in der Kamera verrechnet und über eine Ethernet-Verbindung an den Computer weitergeleitet.

Die Cortex-Software (hier Cortex 1.1.4.368) dient dem Versuchsaufbau, der Kalibrierung, der Echtzeit-Bewegungsaufnahme, der Aufnahme von Bewegungen für anschließende Verarbeitung, der (Nach-)Bearbeitung von Daten und Abspeichern im Format der Wahl. Es können bis zu vier verschiedene Eingabefelder gleichzeitig betrachtet werden, dazu gehören die 3D- oder 2D-Anzeige, das analoge Videobild, xyz-Graphen, Analoggraphen sowie HTR-Graphen. Dabei lässt sich in Echtzeit der Versuch betrachten.

Die Kalibrierung erfolgt über eine dynamische Linearisierungsmethode. Zuerst wird ein L-förmiger Rahmen mit vier reflektierenden Punkten zur Definierung der xyz-Achsen benutzt. Anschließend wird ein 500 mm großer *wand* (Stab) mit drei in definiertem Abstand gelegenen Markern genutzt um die



Abbildung 4.3: Eagle Digital Kamera

Linearisierungsparameter der Kameras festzulegen.

### 4.2.4 Kraftmessplatte und Ladungsverstärker

Um die Bodenreaktionskräfte während der Ausführung des Kopfstoßes zu messen, wurde der Versuch auf einer Mehrkomponenten Messplattform vom Typ 9281E der Firma Kistler Instrumente AG ausgeführt (siehe Abb. 4.4). Diese Kraftmessplatte besteht aus einer 400 x 600 mm großen Aluminium-Sandwich-Deckplatte und vier eingebauten piezoelektrischen 3-Komponenten-Kraftsensoren. Durch ihre extreme Steifigkeit ermöglicht die Platte Messungen in einem sehr großen nutzbaren Frequenzbereich. Zudem können gleichzeitig sehr dynamische Vorgänge hochsensibel in einem weiten Einsatzbereich gemessen werden. Der Messbereich umfasst -10 bis 20 kN.

Zusammen mit der Kraftmessplatte wurde ein 8-Kanal-Ladungsverstärker vom Typ 9865E der Firma Kistler Instrumente AG als integraler Bestandteil des Kraftmesssystems verwendet, in der Abbildung 4.5 zu sehen.

### 4.2.5 Fragebogen

Vor den Versuchen machten alle Probanden freiwillig Angaben über Alter, Geschlecht, Körpergröße, Körpergewicht sowie etwaige Kopfstoßerfahrungen (dazu zählte auch Kopfballtraining als Fußballer). Siehe dazu den Fragebogen im Anhang A.



Abbildung 4.4: Mehrkomponentenkraftmessplatte



Abbildung 4.5: 8-Kanal-Ladungsverstärker

### 4.2.6 Versuchspersonen

An den Experimenten nahmen 17 Freiwillige aus der Durchschnittsbevölkerung teil. Davon hatten zehn keinerlei Erfahrung mit Kopfstößen, sieben hatten mäßig bis viel Erfahrung aus dem Sportbereich (Fußball).

## 4.2. LABORMESSUNGEN ZUM KOPFSTOSS

---

Diejenigen Probanden ohne jegliche Kopfstoßerfahrung waren zwischen 20 und 30 Jahre alt, 161 bis 189 cm groß und 52 bis 95 kg schwer. Es nahmen 4 Probandinnen sowie 6 männliche Probanden teil. Die Mittelwerte ( $\mu$ ) und die jeweiligen Standardabweichungen ( $\sigma$ ) können Tabelle 4.2 entnommen werden.

n=10	min	max	$\mu$	$\sigma$
<b>Alter</b>	20	30	25	3,1
<b>Körpergröße</b>	161	189	175	8,4
<b>Körpergewicht</b>	52	95	73,5	11,8

Tabelle 4.2: Versuchspersonen ohne Kopfstoßerfahrung

Die sieben Probanden mit mäßiger bis großer Kopfstoßerfahrung waren ausnahmslos Fußballspieler zwischen 25 bis 34 Jahre alt, 171 bis 189 cm groß und 58 bis 90 kg schwer. Alle hatten Erfahrung mit dem Kopfballsport. Davon war eine Person weiblich und sechs Personen männlich. (siehe Tab. 4.3)

n=7	min	max	$\mu$	$\sigma$
<b>Alter</b>	25	34	29,5	3,3
<b>Körpergröße</b>	171	189	180	6,4
<b>Körpergewicht</b>	58	90	74	11,9

Tabelle 4.3: Versuchspersonen mit Kopfstoßerfahrung

# Kapitel 5

## Ergebnisse

### 5.1 Aus dem Archiv des Instituts für Rechtsmedizin

#### 5.1.1 Mündliche Gutachten

Die Durchsicht der Ordner für mündliche Gerichtsgutachten der Jahre 2004 bis 2008 ergab 39 Kopfstoß- und 112 Faustschlagfälle mit Frakturfolge (siehe Abb. 5.1), alle Täter waren männlich. Von den 39 gefundenen Kopfstoßfällen hatten 38 eine Nasenbeinfraktur zur Folge. Die Recherche ergab lediglich einen Kopfstoßfall mit einer so genannten Dreifußfraktur, also Brüchen von Jochbein, Orbitaboden sowie des Sinus maxillaris.

Von den 112 Faustschlagdelikten endeten 62 in einer Nasenbeinfraktur, das entspricht 55,36%. Zudem lagen 22 weitere Fälle mit Nasenbeinfraktur vor, die Kombinationsverletzungen als Ursache hatten, 13 davon traten als Kombination aus Faustschlag und Fußtritt sowie 10 Tötlichkeiten mit gemeinsamem Kopfstoß und Faustschlag auf.

## 5.1. AUS DEM ARCHIV DES INSTITUTS FÜR RECHTSMEDIZIN

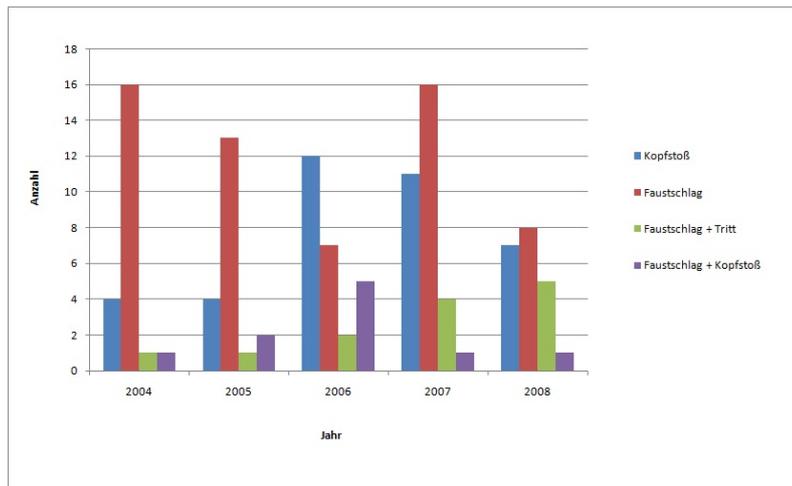


Abbildung 5.1: Nasenbeinfrakturen in mündlichen Gutachten

In Abb. 5.2 sind die Verletzungsursachen in ihren Anteilen an den Nasenbeinfrakturen der Jahre 2004-2008 nochmals aufgeschlüsselt. Dabei zeigt sich, dass als Ursache der Faustschlag mit 50% deutlich die Statistik anführt, der Kopfstoß kommt auf 31% aller Frakturursachen. Am dritthäufigsten treten mit 11% die Kombination von Faustschlag und Fußtritt auf, gemeinsamer Kopfstoß und Faustschlag kommt auf 8%.

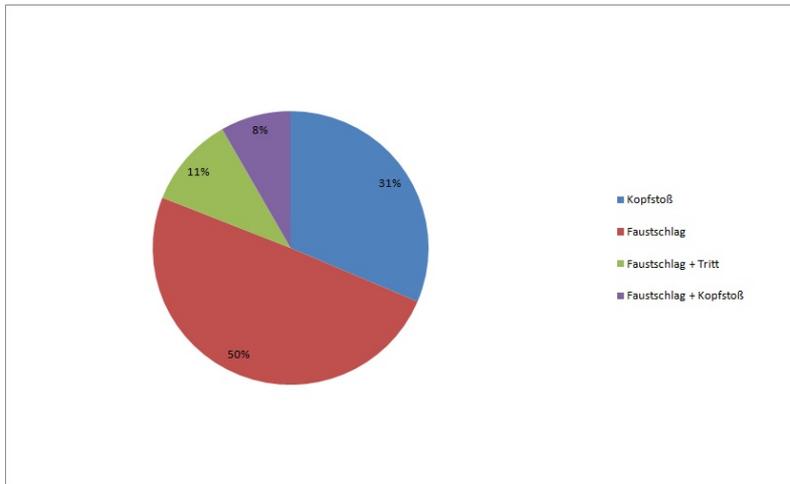


Abbildung 5.2: Anteil der Ursachen von Nasenbeinfrakturen in mündlichen Gutachten

Dass insbesondere Verletzungen nach mehrfacher Gewalteinwirkung gegen den Kopf zu Hirnblutungen führen können, zeigen die beiden folgenden gutachterlichen Fälle des Instituts:

Im Jahr 2007 trat bei einem Geschädigten nach einem Kopfstoß, Schlägen sowie Tritten gegen Kopf und Körper eine Subarachnoidalblutung der rechten Inselrinde auf. Im darauf folgenden Jahr erlitt ein weiteres Opfer wiederum eine SAB der linken Insula nach Schlägen und Tritten.

In einem weiteren Fall aus dem Jahre 2008 wurde ein Mann durch Faustschläge und fragliche Tritte gegen den am Boden liegenden Körper so schwer verletzt, dass er eine Kalottenfraktur sowie eine Epiduralblutung frontal davontrug.

Die Verletzungsfolgen nach Faustschlag sind in Abb. 5.3 dargestellt. Es wurden insgesamt 62 Fälle von Nasenbeinfrakturen, 19 Orbitabodenfrakturen, 14 Kieferhöhlenfrakturen, 10 Jochbeinfrakturen, 4 Orbitadachfrakturen und jeweils 1 Fraktur der medialen Orbitawand, der Siebbeinzellen, der Stirnhöhle, der Nasennebenhöhle und der Frontobasis beschrieben. Die jeweiligen Anteile der Frakturen an den 112 bearbeiteten Faustschlagfällen sind in Abb. 5.4 aufgezeigt: Nasenbeinfrakturfälle 55%, Orbitabodenfrakturen 17%, Kiefer-

## 5.1. AUS DEM ARCHIV DES INSTITUTS FÜR RECHTSMEDIZIN

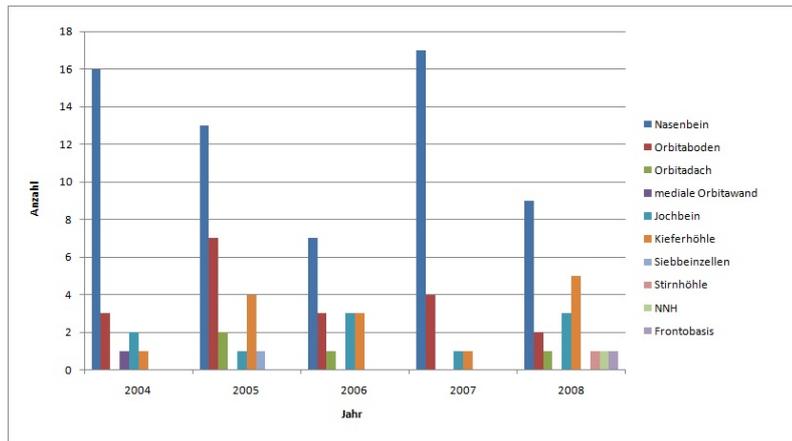


Abbildung 5.3: Verletzungen nach Faustschlag (mündliche Gutachtenfälle)

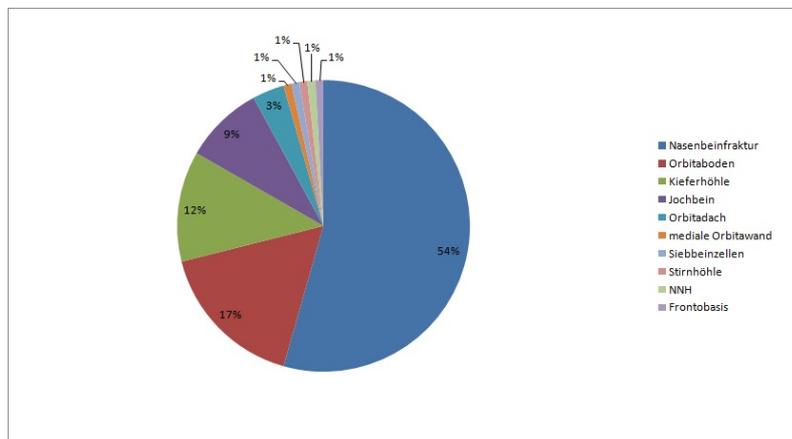


Abbildung 5.4: Anteile der gesehenen Frakturen nach Faustschlag (mündliche Gutachtenfälle)

höhlenfrakturen 12%, Jochbeinfrakturen 9%, Orbitadachfrakturen 4% sowie die Frakturen der medialen Orbitawand, der Siebbeinzellen, der Stirnhöhle, der Nasennebenhöhlen und der Frontobasis jeweils 1%.

## 5.1. AUS DEM ARCHIV DES INSTITUTS FÜR RECHTSMEDIZIN

In Abbildung 5.5 ist die Altersverteilung der Täter in den mündlichen Gutachten dargestellt.

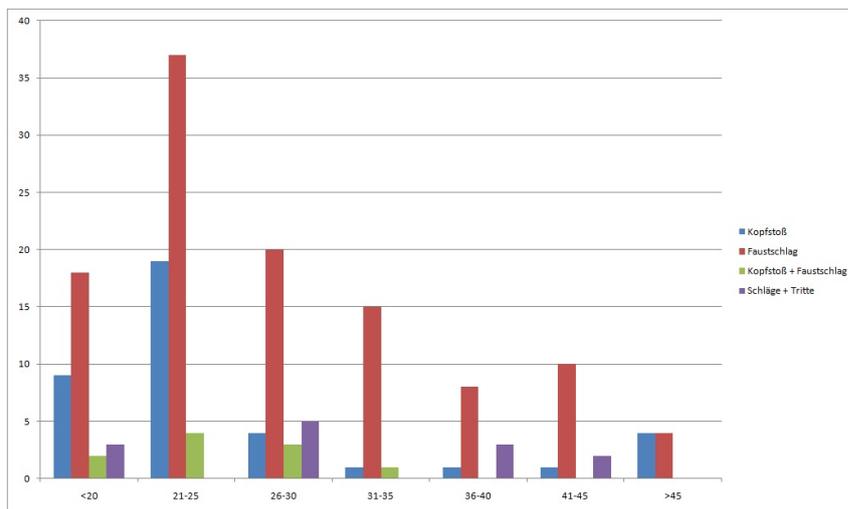


Abbildung 5.5: Altersverteilung der Täter in den mündlichen Gutachten

### 5.1.2 Schriftliche Gutachten

Die Recherche im elektronischen Archiv des Instituts für Rechtsmedizin ergab 14 schriftlich bearbeitete Kopfstoßfälle in den Jahren 1996 bis 2009, bei denen alle Täter männlich waren. Abbildung 5.6 zeigt die Anzahl der jeweiligen Frakturen im Kollektiv auf.

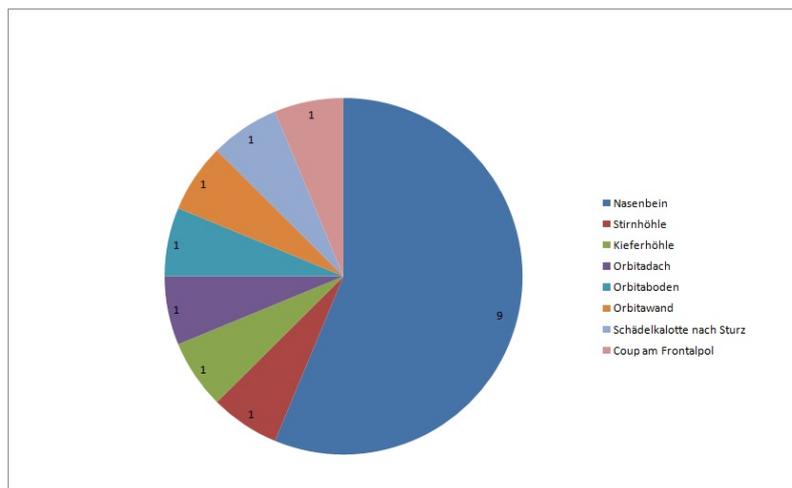


Abbildung 5.6: Anzahl der Frakturen nach Kopfstoß in den schriftlichen Gutachten

Es traten insgesamt 9 Nasenbeinfrakturen, ansonsten jeweils 1 Stirnhöhlen-, Stirnvorderwand-, Kieferhöhlen-, Orbitadach-, Orbitaboden- und Orbitawandfraktur auf. Zudem ergab die Recherche 1 Kalottenfraktur infolge eines Sturzes nach erlittenem Kopfstoß. Einmalig wurde eine Coup-Verletzung am Frontalpol des Gehirns nach einem Kopfstoß beschrieben, wobei differentialdiagnostisch auch an eine Contre-Coup-Verletzung infolge eines Sturzes gedacht werden muss.

In dem genannten Zeitraum wurden außerdem noch 11 Faustschlagfälle mit Frakturfolge bearbeitet, auch hier waren alle Täter männlich (Abb. 5.7). Es kamen 5 Nasenbeinfrakturen, 3 Kieferhöhlen- sowie jeweils 1 Orbitaboden-, Orbitawand-, Orbitadach-, Unterkiefer- und Dreifußfraktur vor. In einem Fall kam es zu einer Schädelbasisfraktur mit rechtsseitiger Subduralblutung nach Sturz, ein weiterer Fall einer Kalottenfraktur nach Faustschlag und Sturz mit rechts-temporalem Epiduralhämatom wurde beschrieben. Des Weiteren wurde ein Fall einer Subarachnoidalblutung mit Gehirnkontusion nach mehreren Faustschlägen bearbeitet.

In Abbildung 5.8 ist die Altersverteilung der Täter in den schriftlichen Gutachten dargestellt.

## 5.1. AUS DEM ARCHIV DES INSTITUTS FÜR RECHTSMEDIZIN

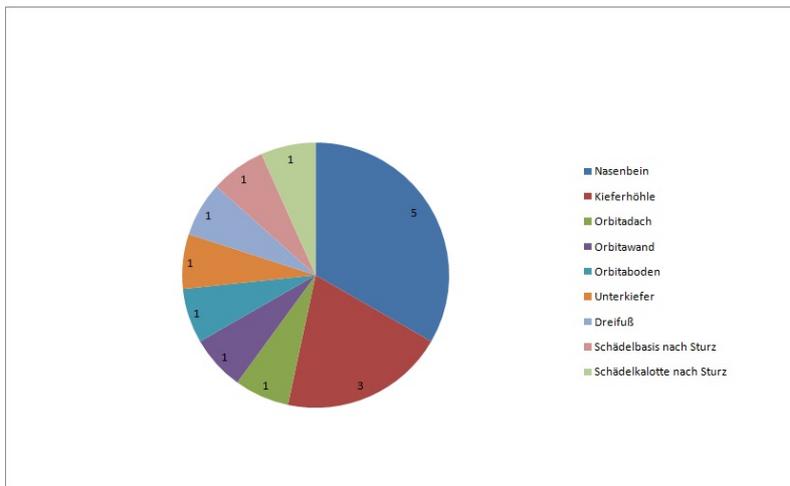


Abbildung 5.7: Frakturen nach Faustschlag (schriftliche Gutachtenfälle)

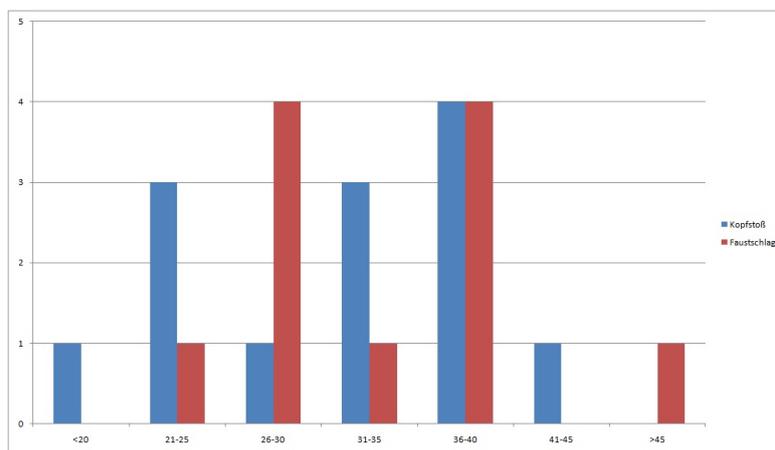


Abbildung 5.8: Altersverteilung der Täter (schriftliche Gutachtenfälle)

## 5.2 Aus dem HNO-Archiv in Großhadern

Im Zeitraum von 1996 bis 2008 wurden in der HNO-Klinik Großhadern 874 Fälle mit den folgenden Schlüsselnummern behandelt (Tabellen 5.1 und 5.2, im Januar 1998 wurde ICD-9 von ICD-10 abgelöst):

Schlüsselnummer	Art der Verletzung	Anzahl
801	Fraktur der Schädelbasis	16
802	Fraktur der Gesichtsknochen	396
803	Sonstige und nicht näher bezeichnete Schädelfrakturen	11

Tabelle 5.1: Eingeschlossene Diagnoseschlüssel nach ICD-9

Schlüsselnummer	Art der Verletzung	Anzahl
S02.1	Schädelbasisfraktur	308
S02.7	Multiple Frakturen der Schädel- und Gesichtsschädelknochen	82
S02.8	Frakturen sonstiger Schädel- und Gesichtsschädelknochen	44
S02.9	Fraktur des Schädels und der Gesichtsschädelknochen, Teil nicht näher bezeichnet	17

Tabelle 5.2: Eingeschlossene Diagnoseschlüssel nach ICD-10

Insgesamt fanden sich 6 schriftlich belegbare Kopfstoßfälle in dieser Zeitspanne (Tabelle 5.3), bei weiteren 9 Fällen ist von einem Kopfstoß bzw. einem ähnlichen Verletzungsgeschehen auszugehen (siehe “fragliche Kopfstoßfälle” Tabelle 5.4). Bei der Hälfte der 6 Kopfstoßfälle wurde eine Nasenbeinfraktur diagnostiziert, zudem zeigte sich bei 50% ein Bruch der Stirnhöhlenvorderwand, bei 2 Fällen kam es zu einer Orbitadachfraktur (33%). Jeweils einmal kam es zu einer Orbitaboden-, Siebbein- und Kieferhöhlenfraktur.

5.2. AUS DEM HNO-ARCHIV IN GROSSHADERN

<b>Jahr</b>	<b>Alter, Ge- schlecht des Op- fers</b>	<b>Verletzungsgeschehen nach eigener Aussage</b>	<b>Frakturart</b>
1999	27, ♂	Kopfstoß	Nasenpyramidenfraktur
2000	36, ♂	Kopfstoß während Schlägerei	Nasenpyramidenfraktur, Stirnhöhlenvorderwandfraktur links, Orbitadach- und Siebbeinfraktur links
2002	21, ♂	Kopfstoß während Schlägerei	Stirnhöhlenvorderwandfraktur rechts, Orbitabodenfraktur rechts
2004	28, ♂	Kopf gegen Nase	Nasenpyramidenfraktur
2005	25, ♂	Zusammenstoß Kopf gegen Kopf (Oktoberfest)	Orbitadach- und Stirnhöhlenvorderwandfraktur links; dislozierte Fragmente infra-orbital und in die Sinus; Hypästhesie V/1 links
2008	39, ♂	mehrere Kopfstöße	laterale Mittelgesichtsfraktur links mit Absprengung des lateralen Maxillarpfeilers im Bereich der Sutura frontozygomatica und Stückfraktur der Kieferhöhlenvorder- und -seitenwand

Tabelle 5.3: Kopfstoßfälle zwischen 1996 und 2008 in der HNO-Klinik Großhadern

Bei den fraglichen Kopfstoßfällen traten in 44 % eine Nasenpyramidenfraktur auf, des Weiteren wurde in jeweils 2 Fällen eine Orbitaboden- bzw. eine Dreifußfraktur (eine Fraktur von sowohl Jochbogen, Orbitaboden und Kieferhöhlenvorderwand) festgestellt. In einem Fall wurde ein Bruch der Stirnhöhlenvorderwand diagnostiziert.

5.2. AUS DEM HNO-ARCHIV IN GROSSHADERN

<b>Jahr</b>	<b>Alter, Geschlecht des Opfers</b>	<b>Verletzungsgeschehen nach eigener Aussage</b>	<b>Frakturart</b>
1997	23, ♂	Zusammenstoß mit anderem Fußballspieler	Orbitabodenfraktur links
1998	20, ♂	Zusammenstoß mit anderem Fußballspieler	Nasenpyramidenfraktur
1999	24, ♂	Zusammenstoß mit Fußgänger	Nasenpyramidenfraktur
	44, ♀	Kindskopf gegen Nase	Nasenpyramidenfraktur
	35, ♂	Zusammenstoß beim Fußball	Dreifußfraktur
	20, ♂	Kopfball	Nasenpyramidenfraktur
	22, ♂	Stoß beim Football	Orbitabodenfraktur
2007	27, ♂	Kopf-an-Kopf Zusammenstoß beim Fußball	laterale Mittelgesichtsfraktur rechts (Dreifußfraktur) mit Frakturen des rechten Jochbogens und der dorsalen Kieferhöhlenwand
	20, ♂	Kopf-an-Kopf Zusammenstoß beim Tanzen	Stirnhöhlevorderwandfraktur

Tabelle 5.4: Fragliche Kopfstoßfälle zwischen 1996 und 2008 in der HNO-Klinik Großhadern

In dem o.g. Untersuchungszeitraum fanden sich zudem 126 Frakturgeschehen nach Faustschlag. Insgesamt kamen 72 Nasenbein-, 30 Orbitaboden-, 7 Jochbogen-, 5 Dreifuß-, 6 Kieferhöhlen-, 4 Stirnhöhlen- und 2 Siebbeinzellfrakturen vor. Die Abb. 5.9 gibt einen Überblick über die Verletzungsverteilung, Abb. 5.10 zeigt den prozentualen Anteil der Frakturen nach Faustschlag am Gesamtkollektiv auf.

## 5.2. AUS DEM HNO-ARCHIV IN GROSSHADERN

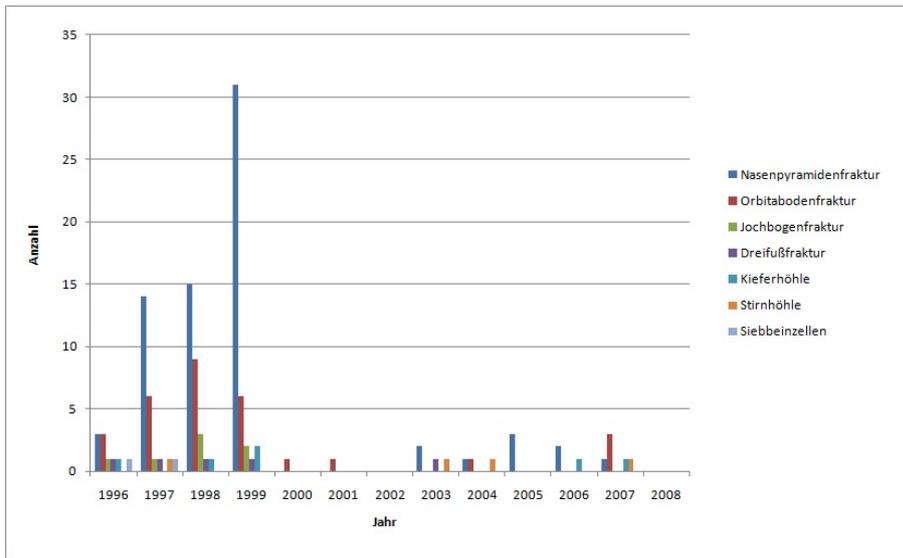


Abbildung 5.9: Verletzungen nach Faustschlag im HNO-Kollektiv

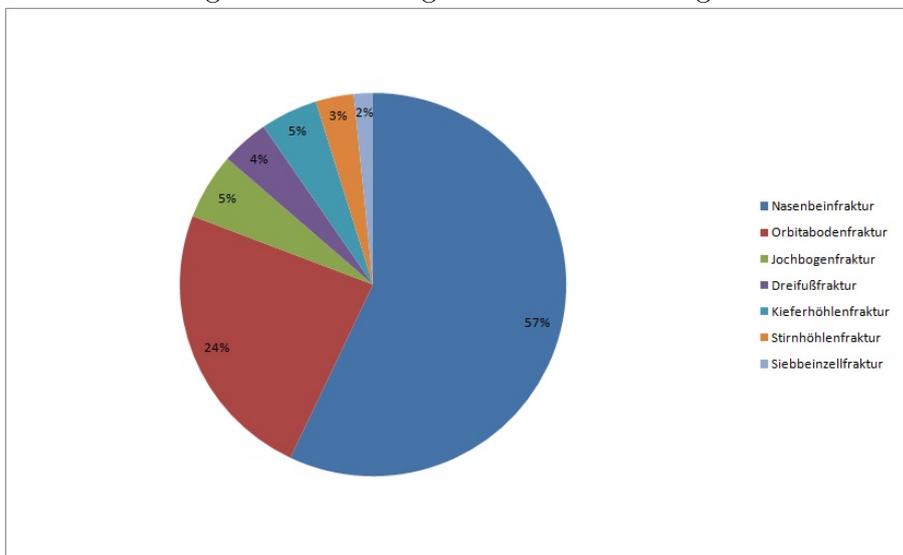


Abbildung 5.10: Prozentuale Verteilung der Frakturen nach Faustschlag im HNO-Kollektiv

Die Altersverteilung der Opfer im HNO-Kollektiv stellte sich wie folgt

dar (Abb. 5.11):

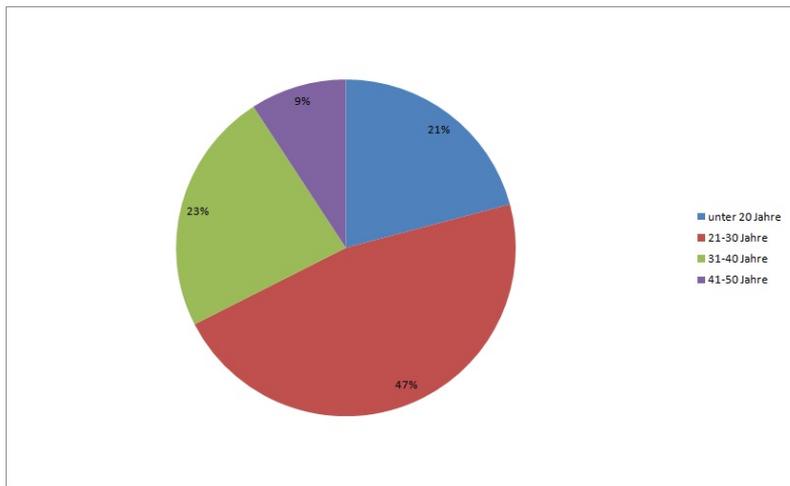


Abbildung 5.11: Altersverteilung im Gesamtkollektiv der HNO-Klinik

Am größten war der Anteil der zwischen 21 und 30 Jahre alten Personen mit 47%, gefolgt von den 31-40 Jährigen mit 23%. Unter 20-jährige kamen auf 21% und die über 41-jährigen auf 9%.

Die männlichen Patienten stellten mit 89% klar die Mehrheit dar.

### 5.3 Labormessungen zum Kopfstoß

An den Laborexperimenten nahmen insgesamt 17 Versuchspersonen teil, davon hatten 10 keine und 7 mäßig bis viel Erfahrung im Kopfstoß (durch Fußballtraining). 12 Probanden waren männlich, 5 weiblich. Von den weiblichen Versuchspersonen hatten 4 keine und 1 mäßig bis viel Erfahrung im Kopfstoß (siehe dazu auch Punkt 4.2.6).

Alles in allem wurden 75 Versuchsdurchläufe durchgeführt.

Im Folgenden wird auf die verschiedenen Mittel- und Höchstgeschwindigkeiten der einzelnen Ausführungsarten der Kopfstöße eingegangen. Es wurden Versuche in zwei verschiedenen Szenarien begangen: unterschieden wurde zwischen plötzlichen, unverhofften Kopfstößen (als bestmögliche Simulation

eines bei einer Auseinandersetzung wohl am ehesten ausgeführten Kopfstoßes), Variante A, und der Maximalvariante, also mit weiterem Ausholen von Genick und Hüfte zum Erreichen der größtmöglichen Geschwindigkeit, Variante B.

### 5.3.1 Mittel- und Höchstgeschwindigkeiten bei plötzlichen Kopfstößen (Variante A)

Unter der Vorgabe, einen Kopfstoß ohne Ausholbewegung, also den Ball möglichst plötzlich und unverhofft zu treffen, wurde dieser Teil der Versuche begangen. Die mittleren Geschwindigkeitswerte  $\mu$  – sowie die Standardabweichung  $\sigma$  – und Anzahl  $n$  der Probanden sind in Tabelle 5.5 nachzulesen.

	$\mu$	$\sigma$	$n$
<b>keine Erfahrung</b>	2,24	0,51	10
Minimum	1,48		
Maximum	3,43		
<b>mäßig bzw. viel Erfahrung</b>	2,19	0,37	7
Minimum	1,53		
Maximum	2,71		

Tabelle 5.5: Mittlere Geschwindigkeiten bei plötzlichen Kopfstößen (m/s)

Da sowohl männliche als auch weibliche Probanden zugegen waren, sind die Werte in Tabelle 5.6 nochmals nach Geschlechtern differenziert aufgeführt.

	$\mu$	$\sigma$	$n$
<b>keine Erfahrung</b>	2,49	0,48	6
Minimum	2,01		
Maximum	3,43		
<b>mäßig bzw. viel Erfahrung</b>	2,18	0,4	6
Minimum	1,53		
Maximum	2,71		
<b>weiblich</b>	1,93	0,29	5
Minimum	1,48		
Maximum (mit Erfahrung!)	2,25		

Tabelle 5.6: Mittlere Geschwindigkeiten bei plötzlichen Kopfstößen, geschlechtersortiert (m/s)

### 5.3. LABORMESSUNGEN ZUM KOPFSTOSS

---

In der Gruppe mit keinerlei Kopfstoßerfahrung wurden Höchstgeschwindigkeiten von  $3,55\text{m/s}$  gemessen (siehe Abb. 5.13, auf der Abszisse die Zeit in Sekunden, die Ordinate die Geschwindigkeit in  $\text{mm/s}$ ), das entspricht einer kinetischen Energie

$$E_{kin} = \frac{1}{2}mv^2 \quad (5.1)$$

von  $31,47\text{ J}$  bei einer angenommenen Kopfmassse von  $5\text{kg}$ .

In Abbildung 5.12 ist der Zusammenhang zwischen dem Impuls  $p$ , der Kraft  $F$  und der Zeit  $t$  bei einem Kopfstoß näherungsweise aufgezeigt.

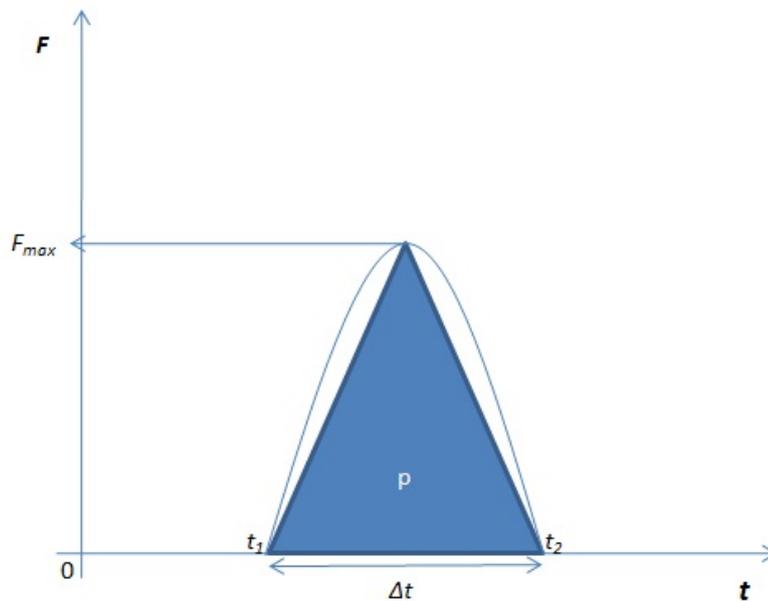


Abbildung 5.12: Näherungsweise Darstellung des Kraftverlaufs eines Kopfstoßes

Für den Impuls  $p$  gilt:

$$p = m\Delta v \quad (5.2)$$

Da  $p$  der Fläche unter dem Dreieck, das näherungsweise den Kraftverlauf beim Kopfstoß darstellt, entspricht, gilt für  $p$

$$p = \frac{1}{2}F_{max}\Delta t \quad (5.3)$$

nach der Flächenberechnung der Dreiecksfläche. Da definitionsgemäß

$$p = m\Delta v \quad (5.4)$$

und

$$p = \frac{1}{2}F_{max}\Delta t \Rightarrow F_{max} = \frac{2m\Delta v}{\Delta t} \quad (5.5)$$

Dementsprechend ergibt sich für die Versuche im schlimmsten anzunehmenden Fall Folgendes:

Unter der Annahme einer durchschnittlichen Kopfmasse von  $5\text{kg}$  und einer Stoßdauer zwischen  $0,01$  und  $0,02\text{s}$  sowie unter der Annahme, dass der Kopf des Täters nach dem Stoß komplett in Ruhe ist, entspricht  $\Delta v$  der gemessenen Aufprallgeschwindigkeit  $v_A$ . Demnach ergibt sich für den “besten” nicht-kopfstoßerfahrenen Probanden bei einer Kopfgeschwindigkeit von  $v_A = 3,55\text{m/s}$  eine Kraft  $F$  von  $1775$  bis  $3550\text{ N}$  sowie eine  $E_{kin}$  von  $31,5\text{ J}$ . Der höchste Wert in der kopfstoßerfahreneren Gruppe betrug  $3,01\text{m/s}$  (siehe Abb. 5.14), entsprechend einer  $E_{kin}$  von  $22,7\text{ J}$  und einer  $F$  von  $1505$  bis  $3010\text{ N}$ .

### 5.3.2 Maximalgeschwindigkeiten des Kopfstoßes (Stoßvariante B)

Unter der Anleitung, den Ball so fest wie möglich – also mit voller Wucht – zu treffen, um die möglichen Maximalgeschwindigkeiten eines Kopfstoßes zu ermitteln, wurden in den beiden Gruppen folgende Mittelwerte gemessen (Tab. 5.7).

	$\mu$	$\sigma$	$n$
<b>keine Erfahrung</b>	3,29	0,65	10
Minimum	2,44		
Maximum	4,51		
<b>mäßig bzw. viel Erfahrung</b>	3,55	0,26	7
Minimum	3,24		
Maximum	4,02		

Tabelle 5.7: Maximalgeschwindigkeiten bei Kopfstößen (m/s)

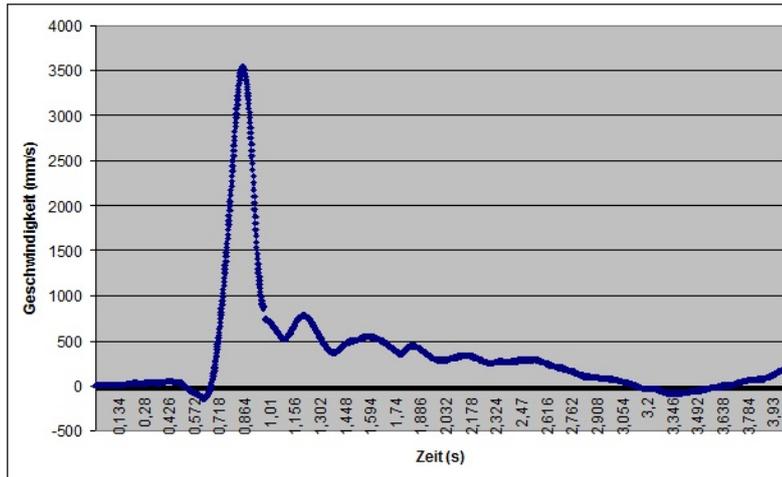


Abbildung 5.13: Plötzlicher Kopfstoß, Gruppe “keine Erfahrung” (männlicher Proband,  $v_{max}$  bis zu  $3,55m/s$ )

	$\mu$	$\sigma$	n
<b>keine Erfahrung</b>	3,63	0,54	6
Minimum	2,99		
Maximum	4,51		
<b>mäßig bzw. viel Erfahrung</b>	3,56	0,28	6
Minimum	3,24		
Maximum	4,02		
<b>weiblich</b>	2,91	0,49	5
Minimum	2,44		
Maximum (mit Erfahrung!)	3,44		

Tabelle 5.8: Maximalgeschwindigkeiten bei Kopfstößen, geschlechterspezifisch (m/s)

Auch hier werden die Ergebnisse der Tabelle 5.7 nochmals geschlechterspezifisch aufgetrennt (Tab. 5.8).

Die besten Ergebnisse beider Gruppen sind in den Abbildungen 5.15 und 5.16 exemplarisch aufgegriffen. Dabei wurden Maximalwerte von  $4,63m/s$

### 5.3. LABORMESSUNGEN ZUM KOPFSTOSS

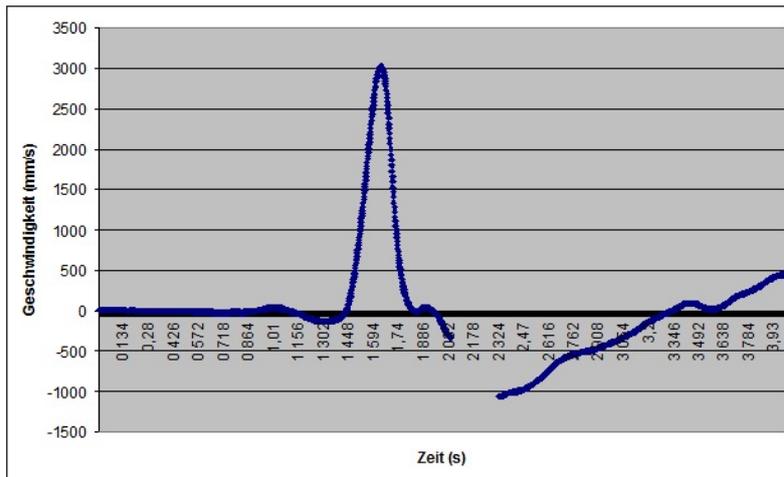


Abbildung 5.14: Plötzlicher Kopfstoß, Gruppe “mäßig/viel Erfahrung” (männlicher Proband,  $v_{max}$  bis zu  $3,01m/s$ )

(entsprechende  $E_{kin}$  rund  $53,55$  J, Kraft  $F_{max}$  zwischen  $2315$  und  $4630$  N), in der Gruppe ohne Erfahrung  $4,09m/s$  ( $E_{kin}$  circa  $41,8$  J, Kraft  $F_{max}$  von  $2045$  und  $4090$  N) in der zweiten Gruppe gemessen.

### 5.3. LABORMESSUNGEN ZUM KOPFSTOSS

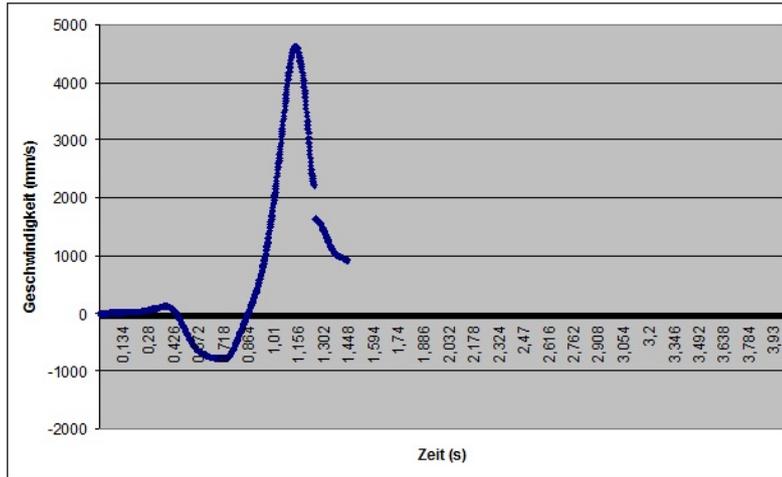


Abbildung 5.15: Maximalstoß, Gruppe “keine Erfahrung” (männlicher Proband,  $v_{max}$  bis zu 4,63m/s)

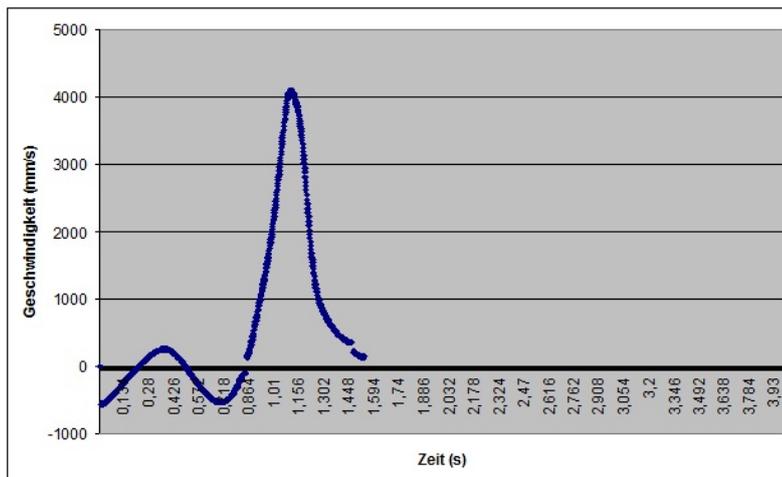


Abbildung 5.16: Maximalstoß, Gruppe “mäßig/viel Erfahrung”, (männlicher Proband,  $v_{max}$  bis zu 4,09m/s)

# Kapitel 6

## Diskussion

### 6.1 Aus dem Archiv des Instituts für Rechtsmedizin

#### 6.1.1 Mündliche Gutachten

Die mündlichen Gutachtenfälle der Jahre 2004 bis 2008 wurden nach Kopfstoß- und Faustschlagfällen durchsucht. Dabei lag das Augenmerk vor allem auf den für das Opfer besonders gefährlichen Delikten.

Dass in einer Zeitspanne von fünf Jahren lediglich 39 Kopfstoßfälle aufgegriffen wurden, mag für ein großes Institut wie München mit großem Einzugsgebiet verwundern. Allerdings ist zu beachten, dass einzig die “gefährlichen” Fälle zur Darstellung kommen, in dem gewählten Zeitraum umfassen diese fast ausschließlich Nasenbeinfrakturen. Alle weiteren Gutachterfälle, die sich mit der Gefährlichkeit des Kopfstoßes befassten, hatten letzten Endes keinerlei gravierende Verletzungen für die Opfer zu Folge, häufig blieben auf Grund dokumentatorischer Mängel oder auch eingeschränkter Lesbarkeit die Verletzungen des Opfers komplett offen. In dieser Arbeit wurden die Fälle, bei denen es lediglich zu Riss-Quetsch-Wunden oder Nasenbluten ohne jegliche Folgen kam, nicht weiter berücksichtigt.

In 38 von 39 Kopfstoßfällen kam es zu einer Nasenbeinfraktur für das Opfer. Wie in Tabelle 2.1 aufgeführt, bricht die Nase bereits bei Krafteinwirkungen von ca. 300 N. Derart geringe Kräfte können mit einem Kopfstoß leicht aufgebracht werden, deshalb wurde eine derartige Fraktur wohl auch in einem so großen Prozentsatz (97,4%) in den mündlichen Gerichtsgutachten vorgefunden.

Ein Nasenbeinbruch kann zu starkem Nasenbluten führen, sodass u.U. das Blut über den Nasen-Rachenraum abfließen und aspiriert werden kann, insbesondere dann, wenn das Opfer ohnmächtig wird (siehe Punkt 2.3.3). Weiterhin können nach Nasenpyramidenfrakturen subperichondrale Einblutungen mit Hämatombildung und Ausbildung eines Septumabszesses beobachtet werden. Eine derartige Infektion kann schlimmstenfalls über Gefäßverbindungen in die Schädelhöhle aufsteigen und zu einer Meningitis führen [34].

Im Kollektiv wurden fast dreimal so viele Faustschlag- wie Kopfstoßfälle mit Frakturfolge beobachtet (112:39). Mit der Faust wird also allgemein häufiger geschlagen, das liegt wohl daran, dass weniger Skrupel bestehen, jemanden mit der Faust zu schlagen als mit dem Kopf. Ein Schlag mit der Faust mag außerdem eher als “gesellschaftlich anerkannt” gelten, wie diverse Fernsehsendungen nahelegen. Deshalb wird wohl grundsätzlich häufiger mit der Faust als mit dem Kopf zugeschlagen.

Darüber hinaus waren die Frakturlokalisationen nach Faustschlag weitaus breiter gestreut als nach Kopfstoß (siehe Abb. 5.3). Das mag mit daran liegen, dass man mit der Faust flexibler ist, verschiedene Bereiche des Gesichts zu erreichen als mit dem Kopf.

Im Jahr 2005 trat in einem Fall nach Faustschlag ein Bruch des Siebbeins auf. Laut Böcker et al. ist die häufigste Ursache einer Liquorfistel die Siebbeinfraktur, da an dieser Stelle Knochendecke und Dura sehr dünn sind. Bei einer unbehandelten Liquorfistel kommt es “praktisch immer zu einer aufsteigenden Infektionen mit eitriger Meningitis” [11].

In dem untersuchten Zeitraum wurden zudem vier Orbitadachfrakturen gesehen. Auch diese Art Bruch kann – durch die engen anatomischen Beziehungen – zu Liquorfisteln führen und unbehandelt eine Entzündung der Hirnhäute nach sich ziehen [10]. Darüber hinaus wurde ein Fall einer Stirnhöhlenfraktur beschrieben. Zieht sich diese Art Bruch bis in die Hinterwand des Sinus frontalis, kann auch hier eine Verbindung zum Liquorraum entstehen mit all seinen bereits mehrfach benannten Konsequenzen [6].

In einem Fall trat ein doppelter Schädelbruch mit Fraktur der Frontobasis nach Faustschlag auf. Durch den Schlag wurde – laut damaliger Sachverständiger – das Opfer bewusstlos geschlagen, was zum Sturz und einem nicht-dislozierten okzipitalen Schädelbasisbruch führte. Eine frontobasale Fraktur kann – bei ungenügender chirurgischer Versorgung – sowohl eine Liquorfistel als auch eine Spätmeningitis, einen Hirnabszess sowie eine Osteomyelitis nach sich ziehen [6].

Im untersuchten Zeitraum wurden weiterhin in den Jahren 2007 und 2008 jeweils ein Fall einer Subarachnoidalblutung beobachtet, 2007 nach kombi-

nierter Einwirkung durch Kopfstoß, Faustschlägen sowie Tritten, 2008 eine Kombination aus Schlägen und Tritten. Des Weiteren wurde ein Fall aus 2008 beschrieben, bei dem ein Mann durch mehrere Faustschläge sowie durch fragliche Tritte sowohl eine Kalottenfraktur als auch eine epidurale Blutung frontal erlitt.

Bei Blutaustritt in den Subarachnoidalraum kommt es zu Tamponierung der äußeren Liquorräume und dadurch zu Liquorzirkulations- und -resorptionsstörungen mit der Folge eines akuten Hydrozephalus. Dadurch steigt der intrakranielle Druck an und es bildet sich ein diffuses Hirnödem aus.

Die epidurale Blutung entsteht meist rasch durch Blutung der A. meningea media und führt schnell zu intrakranieller Drucksteigerung. Es besteht eine Letalität von 30-40% [24].

Dass es gerade bei Fällen von einer Kombination aus Kopfstoß, Schlägen und Tritten zu derlei schweren Verletzungen kommt, verwundert allein schon durch die Häufung der schädigenden Einwirkung kaum. In allen genannten Fällen wurde mehr als einmal zugeschlagen/getreten.

### 6.1.2 Schriftliche Gutachten

Die 14 schriftlich bearbeiteten Gutachterfälle mit Fraktur nach Kopfstoß beinhalteten vorwiegend Brüche des Viszerokraniums (Abb. 5.6). Es wurden abermals vorwiegend Nasenbeinfrakturen beobachtet (9 von 14 Fälle). Des Weiteren wurde jeweils ein Stirnhöhlen- sowie ein Orbitadachbruch gesehen. Auf die Komplikationen, die durch eine Nasenbein-, Stirnhöhlen sowie Orbitadachfraktur entstehen können, sei hier auf Punkt 6.1.1 verwiesen.

Es wurde einmalig eine Kalottenfraktur nach Sturz durch Kopfstoß beobachtet. Durch eine derartige Fraktur besteht immer die Gefahr einer Blutung, z.B. durch Ruptur epidural gelegener Gefäße wie die A. meningea media. Auch eine direkte Schädigung des Hirngewebes durch Knochenfragmente sind denkbar. Zudem entsteht bei Bruch des knöchernen Schädels immer auch die Gefahr einer einwandernden Infektion.

## 6.2 Aus dem HNO-Archiv in Großhadern

### 6.2.1 Auswahl des Krankenguts

Das Krankengut der HNO-Klinik Großhadern der Jahre 1996 bis 2008 wurde nach den in den Tabellen 5.1 und 5.2 genannten Schlüsselnummern selektiert,

dabei wurden 874 Fälle genauer untersucht. Die Schlüsselnummern wurden nach der Möglichkeit, dass die Fälle durch einen Kopfstoß bedingt sein könnten, ausgewählt, nachdem sich ähnliche Fälle aus den bereits untersuchten Kollektiven des rechtsmedizinischen Archivs ergaben.

### 6.2.2 Kopfstoßfälle

Bei dem aus 874 Fällen bestehenden Kollektiv war lediglich in 6 Behandlungsursachen nachweislich von einem Kopfstoß auszugehen. Dies entspricht einem minimalen Prozentsatz von nur rund 0,69%. Es stellt sich die Frage, warum in einem der größten Münchner HNO-Zentren ein nur so geringer Prozentsatz an Kopfstoßfällen vorkommt? Möglicherweise lassen sich nur wenige der Patienten nach einem Kopfstoß behandeln, da beispielsweise eine Straftat verschwiegen wird. Oder der Patient unterschlägt die Tatsache, dass es während einer Schlägerei zu einem Kopfstoß kam, der die behandlungsbedürftige Verletzung bedingt hat. Weiterhin ist insbesondere denkbar, dass Fälle von Seiten des ärztlichen Personals nur mangelhaft dokumentiert werden und deshalb für diese Auswertung wichtige Fälle in der Masse untergehen.

Es ist allerdings auch möglich, dass Kopfstöße zwar häufig gegeben werden, diese jedoch geringe Auswirkungen für die Opfer haben. Dieses Szenario ist insbesondere unter dem Aspekt der häufigen Trunkenheit der Täter während der Ausführung nachvollziehbar. Dadurch ist es möglich, dass der Täter das Opfer lediglich streift, da die Zielsicherheit durch die Alkoholisierung eingeschränkt ist. Durch die mangelhafte Ausführung käme es einfach seltener zu behandlungswürdigen Verletzungen.

Bei den 6 Kopfstoßfällen zeigte sich bei je der Hälfte der Verletzten eine Nasenbein- und/oder Stirnhöhlenvorderwandfraktur, in 33% trat ein Orbitadachbruch auf. Jeweils einmal sind ein Orbitaboden-, ein Siebbein- sowie ein Kieferhöhlenbruch zu verzeichnen.

Nasenbeinfrakturen kommen insgesamt sehr häufig vor, da zum Bruch des Os nasale bereits 300 N ausreichen (siehe Tab. 2.1). Auch die dünne Knochenlamelle über der Stirnhöhle scheint sehr leicht zu brechen. Orbitadachbrüche sind durch die enge Beziehung zum Sinus frontalis häufig mit Stirnhöhlenfrakturen vergesellschaftet. Brüche des Orbitabodens stellen eine typische Komplikation eines Faustschlages dar, Gleiches ist für Kieferhöhlenbrüche zu beobachten. Gerade deshalb sind die Ergebnisse interessant, da es auch bei Kopfstößen zu derartigen Frakturen zu kommen scheint, wie die Auswertung der Akten nahelegt.

Bei Brüchen im Bereich des Gesichtsschädels, insbesondere in Verbindung

mit den pneumatischen Räumen, besteht immer eine hohe Infektionsgefahr, die aufgrund der engen nachbarschaftlichen Beziehung bis zu einer Meningitis oder einem Hirnabszess führen kann. Zudem kann es leicht zu Blutungen kommen, bei etwaiger Bewusstlosigkeit ist ein Bluteinatmen eine gefürchtete Komplikation die zum Tode führen kann. [23, 34]

Die 9 fraglichen Kopfstoßfälle aus dem Kollektiv in Großhadern sind hier wegen eines anzunehmenden ähnlichen Frakturmechanismus mit aufgeführt (Tab. 5.4). Wie bereits oben angesprochen ist es denkbar, dass durch mangelnde Dokumentation der Hinweis auf ein Kopf-an-Kopf-Stoßen in den Akten fehlt. Gerade in Sportarten wie Fußball kommen Zusammenstöße häufig genug vor, beispielsweise bei einem Kopfball(versuch). Allerdings sollte man von höheren Geschwindigkeiten als bei einem als Nahkampftechnik ausgeführten Kopfstoß ausgehen, da oftmals im Rennen/Springen Zusammenstöße stattfinden. Deshalb ist die Annahme eines ähnlichen Frakturmechanismus zwar durchaus denkbar, jedoch nur unter Vorsicht mit einzubeziehen. Jedoch sind gerade die Fälle einer Nasenbeinfraktur zu nennen (44%), die ja bekanntlich schon bei geringeren Einwirkungen entstehen können. Auch der Stirnhöhlenvorderwandbruch stellt eine typische Fraktur nach Kopfstoß dar, ein Zusammenstoßen beim Tanzen könnte durchaus als eine biomechanisch ähnliche Variante des Kopfstoßes erwogen werden und soll deshalb hier erwähnt werden.

### 6.2.3 Fälle nach Faustschlag

Die 126 Faustschlagfälle haben einen Anteil von 14,42% an dem untersuchten Kollektiv und stellen damit eine weitaus häufigere Behandlungsursache als der Kopfstoß dar. Dem könnten geringere Skrupel zum Schlag mit der Faust als mit dem Kopf zugrunde liegen. Denn die Verletzungsgefahr ist bei dem Schlag mit dem Kopf auch für den Ausführenden doch deutlich größer als bei einem Faustschlag.

Auch bei den Verletzungen nach Faustschlag überwiegen die Nasenpyramidenfrakturen mit einem Anteil von 57,1%. Darüber hinaus ist die typische Verletzung Orbitabodenfraktur mit 23,8% häufig vertreten. Verletzungen dieser Art führen meist zu keinen Folgeschäden, dennoch ist eine Hirnhautentzündung oder gar ein Hirnabszess durch aufsteigende Infektionen nach Faustschlag durchaus denkbar und gefürchtet. Auch eine Bewusstlosigkeit nach einem derartigen Schlag kann – wie bereits erwähnt – zu Blutaspilation und Asphyxie durch Ersticken führen [23, 34].

Die in der Abb. 5.9 dargestellte Verletzungsverteilung nach Faustschlag zeigt ab dem Jahr 2000 einen deutlichen Rückgang der Fallzahlen. Insbesondere kamen zwischen 2000 und 2002 überhaupt keine Nasenbeinfrakturen nach Faustschlag vor. Dies ist eher nicht durch einen drastischen Rückgang der Gewaltzahlen zu erklären, sondern wohl durch eine mangelnde Eingabe der korrekten ICD-Codes, da auch ein Blick in die Gesamtstatistik der Klinik (also alle Fälle von Nasenbeinfrakturen etc.) den gleichen Einschnitt in der Kurve zeigt (hier nicht aufgeführt).

## 6.3 Labormessungen zum Kopfstoß

Die gemittelten Maximalgeschwindigkeiten der Probanden variierten um maximal 3 m/s zwischen der schwächsten und der stärksten Versuchsperson. Dabei scheint 1. das Geschlecht eine entscheidende Rolle zu spielen, 2. das grundsätzliche Engagement und die Motivation bei der Teilnahme am Versuch, 3. die Art der Ausführung des Kopfstoßes (nicht vorgegeben) und 4. psychologische Faktoren, wie beispielsweise Angst vor dem Ball.

Die hohe Variabilität der Messwerte zwischen den jeweiligen Probanden war intraindividuell nicht reproduzierbar, d.h. der einzelne Versuchsteilnehmer erbrachte in sich konsistente Werte. Gegebenenfalls kam es zu einer Steigerung während der einzelnen Versuche je nach Übungsgrad, Motivation und Ausdauer.

Grundsätzlich erbrachten die Probandinnen erwartungsgemäß etwas niedrigere Werte bei der Messung der Maximalgeschwindigkeiten, wobei die Streubreite auch bis in die Margen der männlichen Versuchspersonen reichte, insbesondere bei der einen fußballkopfstoßerfahrenen Probandin. Demnach ist anzunehmen, dass eine gewisse Sportlichkeit bei etwaigen Kopfstößen von Vorteil ist in Bezug auf die Maximalgeschwindigkeit und der damit verbundenen Stärke des Stoßes.

Interessanterweise unterschieden sich die beiden Gruppen in Bezug auf die gemessenen Maximalgeschwindigkeiten kaum, d.h. es scheint keinen Unterschied zu machen, ob die jeweilige Versuchsperson Kopfstoßerfahrung hatte oder nicht. Allerdings ist anzumerken, dass keiner der fußballerfahrenen Probanden aktiv und regelmäßig Kopfballtraining vor oder zur Zeit der Messungen absolvierte, lediglich der Umgang mit dem Ball könnte routinierter ausfallen. Schließlich ist die einzig relevante Fertigkeit, einen Kopfstoß ausführen zu können, eine schnelle Kopfbewegung.

Obgleich der Versuchsaufbau ein einfaches physikalisches Modell darstellt, ist durch die hohe Streubreite der Messwerte davon auszugehen, dass die angenäherten Kraftberechnungen akzeptable Werte erbringen. Die im Versuch bewegte effektive Masse entspricht der Kopfmasse, die vereinfacht als 5 kg in die Berechnungen mit einfließt. Obwohl anzunehmen wäre, dass ein geübter "Kopfstoßer" als effektive Masse nicht nur den Kopf allein, sondern auch Anteile zumindest des Nackens durch Anspannung der Muskulatur mit in den Stoß hineinlegt und damit die Höhe der resultierenden Kraft beeinflussen kann, ist im Realfall nicht davon auszugehen. Das zeigte bereits Schneider in seinen Versuchen zum Fußballkopfstoß [39]. Zudem ist die Stoßdauer ähnlich der des Fußballkopfstoßes mit 10-20 ms anzunehmen, was einen relevanten Einfluss der Muskeln ausschließt [3].

In den Experimenten konnten die Probanden die Höhe des Balles frei wählen. Im wahren Leben kann man sich die Größe des Opfers sicherlich nicht immer aussuchen, was demnach Auswirkungen auf die Effektivität des Stoßes haben könnte. Allerdings ist davon auszugehen, dass ein Täter ein eher kleineres Opfer bevorzugen wird, um einen Kopfstoß auszuführen.

Die in den Labormessungen gewählte Art des Kopfstoßes war der einfachste Fall, ein frontaler Stoß. Im wirklichen Leben wird ein Täter wohl kaum exakt mittig mit der Stirn das Opfer treffen. Dadurch entstehen zu den Translationskräften des frontalen Stoßes zusätzliche Rotationskomponenten, die für das Opfer gefährlicher sein können als die einfache hier simulierte Stoßvariante. Durch die Scherbewegungen können Verletzungen analog zum in Punkt 2.3.2 besprochenen Fall von Stan et al. entstehen [49].

Auch kann ein Kopfstoß als Verteidigungsmaßnahme mit beispielsweise dem Hinterkopf ausgeführt werden, etwa wenn eine Person von hinten umklammert wird. Gerade das prominente Occiput ist besonders hart und die Nackenstrecker sehr stark, was zu potentiell schlimmeren Verletzungen als die frontale Variante führen könnte. Zudem ist eine seitliche Kopfstoßform in Verteidigungssituationen denkbar.

Im Versuchsaufbau waren sowohl der Proband als auch das Ballpendel ortsgebunden. In der Realität spielen Faktoren wie Opfer- und Täterbewegung selbstverständlich eine große Rolle bezüglich der Aufprallgeschwindigkeiten. Rechnet das Opfer mit einem Kopfstoß und bewegt sich in einer schützenden Bewegung vom Täter weg, wird die Aufprallgeschwindigkeit verringert werden. Allerdings kann eine solch schnelle Reaktion nicht immer erwartet

werden. Im Versuch betrug die Bewegungsdauer im Schnitt lediglich 0,2 Sekunden bis zum Aufprall. Andererseits kann sich der Opferkopf auch in Richtung Täter bewegen, sei es zufällig oder aufgrund Fixierung des Opfertorsos durch den Täter. In diesem Szenario würde eine höhere Aufprallgeschwindigkeit resultieren.

Aus den verschiedenen denkbaren Szenarien lässt sich schließen, dass eine genaue Analyse des Tatgeschehens unerlässlich ist, um Fälle im wahren Leben richtig evaluieren zu können.

Schließlich sind Sonderfälle denkbar, die die Schwere eines Kopfstoßes erhöhen können. Zum einen würde ein gegen eine feste Oberfläche fixierter Opferkopf weit höhere Aufprallkräfte erzeugen und somit leichter zu schwereren Verletzungen führen. Des Weiteren ist ein ungebremster Sturz des Opfers nach einem Kopfstoß auf harten Boden mit all seinen möglichen Folgen denkbar (siehe 2.3.3 und [23]). Zum anderen muss an multiple Kopfstöße und/oder anderweitig ausgeübte Körperverletzungen, z.B. Faustschläge oder Tritte, gedacht werden, die selbstredend das Verletzungspotential bedeutend steigern können.

## 6.4 Juristische Wertung

Wie bereits im Kapitel 2.2 angesprochen, ist sich die Rechtsprechung in Deutschland bezüglich der Wertigkeit eines Kopfstoßes unschlüssig. So wurden in der Vergangenheit Kopfstoßdelikte sowohl nach dem § 223 StGB als auch nach dem § 224 StGB verurteilt.

Wie die Archivrecherche und insbesondere die Labormessungen dieser Arbeit zeigen, kann ein Kopfstoß unter geeigneten Umständen eine das Leben gefährdende Behandlung darstellen. Gemäß § 224 I Nr. 5 StGB bedeutet ein abstraktes Gefährdungsdelikt, dass die Art der Behandlung generell dazu geeignet sein muss, das Leben eines Opfers zu gefährden. Dabei maßgeblich ist die Gefährlichkeit der Behandlung und nicht die eingetretene Verletzung, d.h. die Gefahr muss sich nicht realisiert haben.

Dementsprechend sollte bei der Beurteilung von Kopfstoßdelikten in Zukunft die durchaus mögliche Lebensgefährlichkeit mit ins Kalkül gezogen und eine Verurteilung als "Gefährliche Körperverletzung" gemäß § 224 StGB bedacht werden.

# Kapitel 7

## Zusammenfassung

Der Kopfstoß scheint laut diverser Internetseiten, Sportberichten und nicht zuletzt durch die Häufigkeit des Auftretens bei strafrechtlichen Verhandlungen mit rechtsmedizinischen Sachverständigen eine relativ häufig angewandte Nahkampftechnik darzustellen. Dabei sieht sich der Sachverständige als Berater des Gerichts regelmäßig vor das Problem der Beurteilung des Kopfstoßes bezüglich seiner Lebensgefährlichkeit gestellt, um bei der juristischen Einordnung der Straftat behilflich zu sein. Diese Beurteilung der Lebensgefährlichkeit bedarf medizinisch-biomechanischer Eckdaten, welche wesentlich für die Rekonstruktion von Tathergängen wären, aber bis dato nicht existent sind.

Die vorliegende Arbeit befasst sich daher mit Archivfällen, biomechanischen Versuchen und vorhergehenden Fällen aus der Literatur, um die Auswirkung von Kopfstößen auf den menschlichen Körper und deren maximal mögliche schädigende Potenz zu ermitteln.

Die Archivrecherche umfasste Gutachterfälle des Institutes für Rechtsmedizin der Universität München der Jahre 1996-2009 in elektronischer Form und der Jahre 2004-2008 in handschriftlicher Form sowie Fälle der HNO-Abteilung des Klinikums München Großhadern der Jahre 1996-2008.

Die Labormessungen zum Kopfstoß wurden mit 17 Freiwilligen und einem Ballpendel durchgeführt, die Geschwindigkeiten während des Kopfstoßes wurden anhand Hochgeschwindigkeitskameras ermittelt. Dabei wurden zwei Szenarien begangen: Variante A diente der Simulation eines "realen" Kopfstoßes, der plötzlich und unverhofft das Opfer treffen sollte. Variante B stellte wiederum die Maximalvariante und damit die größtmögliche Geschwindigkeit dar. Des Weiteren wurden die Versuchspersonen je nach Kopfstoßerfahrung, hier durch Fußballtraining, in zwei Gruppen eingeteilt. 10 Probanden hatten demnach keine und 7 mäßig bis viel Kopfstoßerfahrung.

In den elektronischen Gutachterfällen fanden sich 13 Kopfstoßfälle. Die dabei

---

ermittelten Verletzungen umfassten 9-mal eine Nasenbeinfraktur und ansonsten jeweils 1-mal eine Stirnhöhlevorderwand-, Kieferhöhlen-, Orbitadach-, Orbitaboden- und Orbitawandfraktur. 1-mal trat eine Kalottenfraktur nach Sturz infolge eines Kopfstoßes auf. Die handschriftlichen Gutachterfälle ergaben 39 Kopfstoßfälle, von denen 38 in einer Nasenbeinfraktur und 1 Fall in einer sogenannten Dreifußfraktur endeten.

Die im Archiv des Klinikums Großhadern gefundenen 6 Fälle mit nachgewiesenem Kopfstoß hatten 3-mal eine Nasenbeinfraktur, 3-mal ein Bruch der Stirnhöhlevorderwand, bei 2 Fällen eine Orbitadachfraktur und jeweils 1-mal eine Orbitaboden-, Siebbein- und Kieferhöhlenfraktur zur Folge.

Die Labormessungen erbrachten Höchstgeschwindigkeiten von im Mittel 2,24 m/s für die Gruppe mit keiner Erfahrung und 2,19 m/s für die Gruppe mit Kopfstoßerfahrung in Variante A. Die Stoßvariante B zeigte Höchstgeschwindigkeiten von im Mittel 3,29 m/s für die Nichterfahrenen sowie 3,55 m/s für die Kopfstoßerfahrenen. Die daraus errechneten Kraftwerte im "Worst-Case-Szenario" ergaben Werte zwischen 1,5 und 3,5 kN für die jeweils besten Probanden in Stoßvariante A sowie 2,0 bis 4,6 kN für die Variante B.

Die in den Archivfällen vorgefundenen Verletzungen waren allesamt nicht tödlich. Daraus wäre zu schließen, dass das Risiko, das Leben eines Opfers durch einen Kopfstoß zu gefährden, relativ gering ist. Unter bestimmten Umständen – wie z.B. der gestützte Opferkopf oder das Aufeinanderzubewegen von Opfer und Täter – kann ein Kopfstoß jedoch tödlich ausgehen. Des Weiteren müssen an die Folgen von Frakturen des Viszerokraniums gedacht werden, wie Blutaspiration, aufsteigende Infektionen o.ä. Auch ein eventuelles Sturzgeschehen nach einem Kopfstoß mit nachfolgendem Schädelbruch kann nicht ausgeschlossen werden. Zudem sind Hirnblutungen mit daraus folgendem erhöhtem Hirndruck denkbar.

Zusammenfassend ist der Kopfstoß unter bestimmten Umständen dazu geeignet, das Leben eines Opfers zu gefährden, und es scheint daher gerechtfertigt, derartige Fälle entsprechend dem § 224 I Nr. 5 StGB zu verurteilen

# Anhang A

## Fragebogen

**Name**

.....

**Alter**

..... Jahre

**Geschlecht**

männlich  weiblich

**Körpergröße**

..... cm

**Gewicht**

..... kg

**Kopfstoßerfahrung (z.B. durch Fußball)**

keine  mäßig  viel

# Anhang B

## Auszug aus dem Strafgesetzbuch

### Siebzehnter Abschnitt

#### Straftaten gegen die körperliche Unversehrtheit (§§ 223 - 231)

##### § 223 Körperverletzung

(1) Wer eine andere Person körperlich mißhandelt oder an der Gesundheit schädigt, wird mit Freiheitsstrafe bis zu fünf Jahren oder mit Geldstrafe bestraft.

(2) Der Versuch ist strafbar.

##### § 224 Gefährliche Körperverletzung

(1) Wer die Körperverletzung

1. durch Beibringung von Gift oder anderen gesundheitsschädlichen Stoffen,
2. mittels einer Waffe oder eines anderen gefährlichen Werkzeugs,
3. mittels eines hinterlistigen Überfalls,
4. mit einem anderen Beteiligten gemeinschaftlich oder
5. mittels einer das Leben gefährdenden Behandlung

begeht, wird mit Freiheitsstrafe von sechs Monaten bis zu zehn Jahren, in minder schweren Fällen mit Freiheitsstrafe von drei Monaten bis zu fünf

---

Jahren bestraft.

(2) Der Versuch ist strafbar.

### **§ 225 Mißhandlung von Schutzbefohlenen**

(1) Wer eine Person unter achtzehn Jahren oder eine wegen Gebrechlichkeit oder Krankheit wehrlose Person, die

1. seiner Fürsorge oder Obhut untersteht,
2. seinem Hausstand angehört,
3. von dem Fürsorgepflichtigen seiner Gewalt überlassen worden oder
4. ihm im Rahmen eines Dienst- oder Arbeitsverhältnisses untergeordnet ist,

quält oder roh mißhandelt, oder wer durch böswillige Vernachlässigung seiner Pflicht, für sie zu sorgen, sie an der Gesundheit schädigt, wird mit Freiheitsstrafe von sechs Monaten bis zu zehn Jahren bestraft.

(2) Der Versuch ist strafbar.

(3) Auf Freiheitsstrafe nicht unter einem Jahr ist zu erkennen, wenn der Täter die schutzbefohlene Person durch die Tat in die Gefahr

1. des Todes oder einer schweren Gesundheitsschädigung oder
2. einer erheblichen Schädigung der körperlichen oder seelischen Entwicklung bringt.

(4) In minder schweren Fällen des Absatzes 1 ist auf Freiheitsstrafe von drei Monaten bis zu fünf Jahren, in minder schweren Fällen des Absatzes 3 auf Freiheitsstrafe von sechs Monaten bis zu fünf Jahren zu erkennen.

### **§ 226 Schwere Körperverletzung**

(1) Hat die Körperverletzung zur Folge, daß die verletzte Person

1. das Sehvermögen auf einem Auge oder beiden Augen, das Gehör, das Sprechvermögen oder die Fortpflanzungsfähigkeit verliert,
2. ein wichtiges Glied des Körpers verliert oder dauernd nicht mehr gebrauchen kann oder

- 
3. in erheblicher Weise dauernd entstellt wird oder in Siechtum, Lähmung oder geistige Krankheit oder Behinderung verfällt,

so ist die Strafe Freiheitsstrafe von einem Jahr bis zu zehn Jahren.

(2) Verursacht der Täter eine der in Absatz 1 bezeichneten Folgen absichtlich oder wissentlich, so ist die Strafe Freiheitsstrafe nicht unter drei Jahren.

(3) In minder schweren Fällen des Absatzes 1 ist auf Freiheitsstrafe von sechs Monaten bis zu fünf Jahren, in minder schweren Fällen des Absatzes 2 auf Freiheitsstrafe von einem Jahr bis zu zehn Jahren zu erkennen.

### **§ 227 Körperverletzung mit Todesfolge**

(1) Verursacht der Täter durch die Körperverletzung (§§ 223 bis 226) den Tod der verletzten Person, so ist die Strafe Freiheitsstrafe nicht unter drei Jahren.

(2) In minder schweren Fällen ist auf Freiheitsstrafe von einem Jahr bis zu zehn Jahren zu erkennen.

### **§ 228 Einwilligung**

Wer eine Körperverletzung mit Einwilligung der verletzten Person vornimmt, handelt nur dann rechtswidrig, wenn die Tat trotz der Einwilligung gegen die guten Sitten verstößt.

### **§ 229 Fahrlässige Körperverletzung**

Wer durch Fahrlässigkeit die Körperverletzung einer anderen Person verursacht, wird mit Freiheitsstrafe bis zu drei Jahren oder mit Geldstrafe bestraft.

### **§ 230 Strafantrag**

(1) Die vorsätzliche Körperverletzung nach § 223 und die fahrlässige Körperverletzung nach § 229 werden nur auf Antrag verfolgt, es sei denn, daß die Strafverfolgungsbehörde wegen des besonderen öffentlichen Interesses an der Strafverfolgung ein Einschreiten von Amts wegen für geboten hält. Stirbt die verletzte Person, so geht bei vorsätzlicher

---

Körperverletzung das Antragsrecht nach § 77 Abs. 2 auf die Angehörigen über.

(2) Ist die Tat gegen einen Amtsträger, einen für den öffentlichen Dienst besonders Verpflichteten oder einen Soldaten der Bundeswehr während der Ausübung seines Dienstes oder in Beziehung auf seinen Dienst begangen, so wird sie auch auf Antrag des Dienstvorgesetzten verfolgt. Dasselbe gilt für Träger von Ämtern der Kirchen und anderen Religionsgesellschaften des öffentlichen Rechts.

### **§ 231 Beteiligung an einer Schlägerei**

(1) Wer sich an einer Schlägerei oder an einem von mehreren verübten Angriff beteiligt, wird schon wegen dieser Beteiligung mit Freiheitsstrafe bis zu drei Jahren oder mit Geldstrafe bestraft, wenn durch die Schlägerei oder den Angriff der Tod eines Menschen oder eine schwere Körperverletzung (§ 226) verursacht worden ist.

(2) Nach Absatz 1 ist nicht strafbar, wer an der Schlägerei oder dem Angriff beteiligt war, ohne daß ihm dies vorzuwerfen ist.

## Literaturverzeichnis

- [1] ASAI, T, K KATAOKA, T UEJIMA, I SAKATA und M TANEDA: *Traumatic Laceration of the Intracranial Vertebral Artery Causing Fatal Subarachnoid Hemorrhage: Case Report*. Surg Neurol, 45:566–569, 1996.
- [2] ATHA, J, MR YEADON, J SANDOVER und KC PARSONS: *The Damaging Punch*. BMJ, 291:1756–1757, 1985.
- [3] BAUER, JA, TS THOMAS, JH CAURAUGH, TW KAMINSKI und CHJ HASS: *Impact Forces and Neck Muscle Activity in Heading by Collegiate Female Soccer Players*. Journal of Sports Sciences, 19:171–179, 2001.
- [4] BENEKE, R: *Ein Fall tödlicher traumatischer Tentoriumzerreissung ohne Schädelverletzung beim Erwachsenen*. Vjschr gerichtl Med, 43:235–241, 1912.
- [5] BERG, K: *Ein Faustschlag bewirkt Schädelbruch und tödliche Meningeablutung*. Int J Legal Med, 21(1):226–230, 1933.
- [6] BOENNINGHAUS, H-G und T LENARZ: *Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde*. Springer, 13. Auflage, 2007.
- [7] BOSTRÖM, K, CG HELANDER und SO LINDGREN: *Blunt Basal Head Trauma: Rupture of the Posterior Inferior Cerebellar Artery*. Forensic Sci Int, 53:61–68, 1992.
- [8] BREMER, SM: *Forensisch-biomechanische Aspekte des Faustschlags*. Dissertation, Ludwig-Maximilians-Universität München, 2008.
- [9] BUNDESKRIMINALAMT: *Polizeiliche Kriminalstatistik Bundesrepublik Deutschland Berichtsjahr 2007*. Bundeskriminalamt Wiesbaden, 55 Auflage, 2008. ISSN 0943-4674.
- [10] BURK, A und R BURK: *Checkliste Augenheilkunde*. Georg Thieme Verlag, 4 Auflage, 2005.

- [11] BÖCKER, W, H DENK, P HEITZ und H MOCH: *Pathologie*. Elsevier, 4 Auflage, 2008.
- [12] COAST, GC und DJ GEE: *Traumatic Subarachnoid Haemorrhage: an Alternative Source*. J Clin Pathol, 37:1245–1248, 1984.
- [13] CONTOSTAVLOS, DL: *Isolated Basilar Traumatic Subarachnoid Hemorrhage: an Observer's 25 Year Re-evaluation of the Pathogenetic Possibilities*. Forensic Sci Int, 73:61–74, 1995.
- [14] ENOCH, DA, MI GILLHAM, R MACFARLANE, N ANTOUN und O SULE: *A Troublesome Head-butt*. Lancet Infect Dis, (7):694, 2007.
- [15] FENTON, TW, JL DEJONG und RC HAUT: *Punched with a Fist: The Etiology of a Fatal Depressed Cranial Fracture*. J Forensic Sci, 48:277–281, 2003.
- [16] HULST, JPL: *Schädelbruch, Gehirnertrümmerung, subdurales Hämatom, Schlag mit der blossen Faust*. Vjschr gerichtl Med, 62:76–83, 1921.
- [17] JOHNSON, J, J SKORECKI und RP WELLS: *Peak Accelerations of the Head Experienced in Boxing*. Med Biol Eng, 13:396–404, 1975.
- [18] KLAGES, U: *Spontane oder traumatische tödliche Subarachnoidalblutung*. Z Rechtsmed, 67:67–86, 1970.
- [19] KRATTER, J: *Über Handlungsfähigkeit tödlich Verletzter*. Dtsch Z gerichtl Med, 5:30–35, 1924.
- [20] KRAULAND, W: *Die traumatische subarachnoidale Blutung*. Z Rechtsmed, 87:1–18, 1981.
- [21] KRAULAND, W und R STÖGBAUER: *Zur Kenntnis der Schlagaderverletzungen am Hirngrund bei gedeckten stumpfen Gewalteinwirkungen*. Beitr gerichtl Med, 21:171–180, 1961.
- [22] LITTLE, JM, J MAY, GK VANDERFIELD und S LAMOND: *Traumatic Thrombosis of the Internal Carotid Artery*. Lancet, II:926–931, 1969.
- [23] MADEA, B und B BRINKMANN: *Handbuch gerichtliche Medizin*, Band 1. Springer, 1 Auflage, 2004.
- [24] MASUHR, KF und M NEUMANN: *Duale Reihe – Neurologie*. Georg Thieme Verlag, 6 Auflage, 2007.

- [25] MAXEINER, H: *Extra- und intrakranielle Verletzungen von Hirnarterien als Mißhandlungsfolge*. Z Rechtsmed, 102:191–198, 1989.
- [26] MAXEINER, H: *Entstehungsbedingungen, Quellen und Typologie von tödlichen Subduralblutungen*. Rechtsmedizin, 9:14–20, 1998.
- [27] MAXEINER, H: *Über Brückenvenenverletzungen bei tödlich verunglückten Kraftfahrzeuginsassen*. Unfallchirurg, 103:552–556, 2000.
- [28] MILTNER, E und HP SCHMITT: *Tödlich dissezierende Wandruptur mit Lichtungskompression im Bereich der A. cerebri anterior und media links nach Tritten gegen den Kopf*. Rechtsmedizin, 1:59–62, 1991.
- [29] MIYAZAKI, T, T KOJIMA, F CHIKASUE, M YASHIKI und H ITO: *Traumatic Rupture of Intracranial Vertebral Artery Due to Hyperextension of the Head: Reports on three Cases*. Forensic Sci Int, 47:91–98, 1990.
- [30] MOLITORIS, H: *Ob ein Faustschlag für den Tod ursächlich war?* Int J Legal Med, 15(1):320–329, 1930.
- [31] NAHUM, AM, JD GATTS, CW GADD und J DANFORTH: *Impact Tolerance of the Skull and Face*. Stapp Car Crash Journal, 12:302–316, 1968.
- [32] NYQUIST, GW, JM CAVANAUGH, SJ GOLDBERG und AI KING: *Facial Impact Tolerance and Response*. Stapp Car Crash Journal, 30:379–395, 1986.
- [33] PARZELLER, M, F RAMSTHALER, B ZEDLER, C RASCHKA und H BRATZKE: *Griff zum Hals und Würgen des Opfers*. Rechtsmedizin, 18(3):195–201, 2008.
- [34] PROBST, R, G GREVERS, H IRO, F ROSANOWSKI, U EYSHOLDT, T BRAUER und F WALDFAHRER: *Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde*. R Probst, G Grevers und H Iro, 3. Auflage, 2008.
- [35] RIMAL, D, SR THAPA, N MUNASINGHE und M ERRINGTON: *An Unusual Presentation of a Minor Head Injury Sustained During a Game of Rugby*. Emerg Med J, 24:485–486, 2007.
- [36] RUTHERFORD, A, R STEPHENS und D POTTER: *The Neuropsychology of Heading and Head Trauma in Association Football (Soccer): A Review*. Neuropsychology Review, 13(3):153–179, 2003.

- [37] SCHNEIDER, DC und AM NAHUM: *Impact Studies of Facial Bones and Skull*. Stapp Car Crash Journal, 16:186–203, 1972.
- [38] SCHNEIDER, K: *Das Risiko einer Hirnverletzung beim Fußball-Kopfstoß*. Unfallheilkunde, 87:40–42, 1984.
- [39] SCHNEIDER, K: *Der Einfluß motorischer und mechanischer Stoßbedingungen auf das Verletzungsrisiko beim Fußball-Kopfstoß*. Sportwissenschaft, 15(2):183–192, 1985.
- [40] SCHNEIDER, K: *Eine Abschätzung des Verletzungsrisikos beim Fußball-Kopfstoß durch Computersimulation*. Sportwissenschaft, 18(4):421–427, 1988.
- [41] SCHNEIDER, K und RF ZERNICKE: *Die Verletzungstoleranz des menschlichen Schädels gegenüber stoßartiger Beschleunigung*. Unfallchirurg, 92:49–53, 1989.
- [42] SCHWARZ, O: *Strafgesetzbuch und Nebengesetze*. H Tröndle und E Dreher, 48 Auflage, 1997.
- [43] SCHÖNKE, A und H SCHRÖDER: *Strafgesetzbuch Kommentar*. T Lencker, A Eser und W Stree, 27 Auflage, 2006.
- [44] SELLIER, K: *Das Schädel-Hirn-Trauma*. Z Rechtsmedizin, 68:239–252, 1971.
- [45] SELLIER, K und F UNTERHARNSCHEIDT: *Mechanik und Pathomorphologie der Hirnschäden nach stumpfer Gewalteinwirkung auf den Schädel*. Hefte Unfallheilkunde, 76, 1963.
- [46] SIMONSEN, J: *Fatal Subarachnoid Haemorrhages in Relation to Minor Injuries in Denmark From 1967 to 1981*. Forensic Sci Int, 24:57–63, 1984.
- [47] SMITH, MS, RJ DYSON, R HALE und L JANAWAY: *Development of a Boxing Dynamometer and Its Punch Force Discrimination Efficacy*. Journal of Sports Sciences, 18:445–450, 2000.
- [48] SPATZ, H: *Brain Injuries in Aviation*. German Aviation Medicine, 1:616–640, 1950.
- [49] STAN, AC, D GUENTHER, A FIEGUTH und A HORI: *Traumatic Pontomedullary Tear: a Case Report*. Forensic Sci Int, 77:37–43, 1996.

- [50] STATISTISCHES BUNDESAMT: *Statistisches Jahrbuch 2009*. Statistisches Bundesamt, 2009.
- [51] TAKAHARA, T, C TERAJ, Y OKADA, K MIMURA und M MUKAIDA: *Fatal Traumatic Subarachnoid Hemorrhage Due to Rupture of the Vertebral Artery*. *Intens Care Med*, 19:172–173, 1993.
- [52] THORNSTEDT, H und GE VOIGT: *Tödliche, basale Subarachnoidalblutung nach Trauma*. *Z Rechtsmedizin*, 50:254–277, 1960.
- [53] TRÖNDLE, H: *Strafgesetzbuch und Nebengesetze*, Band 10. C.H.Beck'sche Verlagsbuchhandlung, 48 Auflage, 1997.
- [54] UNTERHARNSCHEIDT, FJ: *Pathomorphology of Experimental Head Injury Due to Rotational Acceleration*. *Acta neuropath*, 12:200–204, 1969.
- [55] UNTERHARNSCHEIDT, FJ: *Die traumatischen Hirnschäden. Mechanogenese, Pathomorphologie und Klinik*. *Z Rechtsmed*, 71:153–221, 1972.
- [56] VENZLAFF, U: *Entstehungsbedingungen und Klinik gedeckter Hirnschädigungen bei Sportunfällen*. *Med Welt*, 13:546–550, 1970.
- [57] VIANO, DC, IR CASSON, EJ PELLMAN, CA BIR, L ZHANG, DC SHERMAN und MA BOITANO: *Concussion in Professional Football: Comparison with Boxing Head Impacts - Part 10*. *Neurosurgery online*, 57:1154–1170, 2005.
- [58] VOLHARD, E, P MATIS und F KNÜCHEL: *Entstehungsbedingungen und Klinik gedeckter Hirnschädigungen bei Sportunfällen*. *Med Welt*, 13:546–550, 1970.
- [59] WERKGARTNER, A: *Gezelteriß durch Boxhieb*. *Z Rechtsmed*, 25:41–44, 1935.
- [60] WHITING, WC, RJ GREGOR und GA FINERMAN: *Kinematic Analysis of Human Upper Extremity Movements in Boxing*. *Am J Sports Med*, 16:130–136, 1988.
- [61] ZIEGAN, J: *Innenschichtriß einer Hirnbasis Schlagader mit nachfolgender tödlicher Thrombose als Folge eines Faustschlages*. *Monatsschr Unfallheilk*, 72:282–294, 1969.

# Danksagung

Mein Dank gilt:

Herrn Prof. Dr. med. Matthias Graw, der mir das Thema dieser Arbeit überlassen und mir die Durchführung der Arbeit am Institut für Rechtsmedizin der Ludwig-Maximilians-Universität München ermöglicht hat. Als Doktorvater stand er mir immer mit Rat und Tat zur Seite und begleitete mich über die gesamte Zeitspanne.

Ganz besonders meiner Betreuerin Frau Dr. med. Jutta Schöpfer für ihre hilfreichen Anregungen, ständige Motivation und wertvolle Diskussion.

Herrn Ph.D. Jiri Adamec für die herausragende Mitbetreuung und unendliche Geduld.

Des Weiteren Herrn Prof. Dr. rer. nat. Dr. phil. habil. Klaus Schneider und seinem Team am Institut für Sportwissenschaft und Sport der Universität der Bundeswehr München für die großzügige Unterstützung und äußerst freundliche Zusammenarbeit.

Herrn Dr. med. John-Martin Hempel für die hilfreiche Unterstützung im Bereich der Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde.

Allen Probanden, die an der Studie teilgenommen haben und deren Daten diese Arbeit erst ermöglicht haben.

Zu guter Letzt meiner Familie und meinem Freund für die hilfreichen Diskussionen und vor allem die moralische Unterstützung.